

BADANIA PETROLOGICZNE ORAZ GEOCHEMICZNE MATERII ORGANICZNEJ

Wstęp

Materię organiczną wybranych horyzontów w otworze Piła 1/IG 1 przebadano kilkoma różnymi metodami. Analizę mikroskopową substancji organicznej w preparatach polerowanych w świetle odbitym wykonano na potrzeby dokumentacji wynikowej otworu badawczego Piła 1/IG 1 (Grotek, 1985) oraz w celu realizacji prac nad oceną perspektywiczności geologicznej obszaru przetargowego „Piła” (Kiersnowski i in., 2017). Posłużyła ona do oznaczenia składu maceralnego badanych skał oraz określenia stopnia przeobrażenia termicznego materii organicznej poprzez pomiar refleksyjności wityrynit (R_o).

Wyniki badań geochemicznych materiału organicznego opublikowano w dokumentacji wynikowej otworu (Grotek, 1985). Zawartość węgla organicznego ($\%C_{org}$) określono przy pomocy chromatografii gazowej z zastosowaniem analizatora elementarnego. Ekstrakcję bituminów wykonano metodą chloroformową w aparatach Soxhleta. Następnie określono przebieg krzywej absorpcji bituminów w podczerwieni w zakresie $3000\text{--}600\text{ cm}^{-1}$, porównując powierzchnię absorpcji pasma $1000\text{--}1330\text{ cm}^{-1}$ oraz $2800\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$.

Trias

Utwory triasu stanowią najlepiej przebadane pod kątem zawartości oraz składu materii organicznej skały z otworu Piła 1/IG 1. Badane interwały pochodzą z głęb. 1473,0–1479,0 m, 1584,0–1590,0 m, 1736,1–1742,5 m oraz 1879,0–1882,0 m, reprezentujące odpowiednio piaskowiec trzinowy, warstwy gipsowe dolne, warstwy sulechowskie (trias górny, kajper) oraz wapień muszlowy górny (trias środkowy).

Badania petrologiczne

Skład maceralny piaskowca trzinowego zdominowany jest przez grupę wityrynit (do 85%) z maksymalnie 10% domieszką grup liptynit i inertynit (tab. 12). W próbkach są widoczne dwa typy materii organicznej. Pierwszy, autochtoniczny typ występuje w postaci cienkich lamin ułożonych zgodnie z warstwowaniem skały. Drugi, allochtoniczny, przybiera postać bogatych w substancję organiczną otoczków iłów oraz okruchów organicznych bezładnie rozproszonych w ska-

le. Skład obydwu grup jest podobny. Główną ich masę stanowi kolinit oraz tellinit z grupy wityrynit, a także fuzynit i mikrynit z grupy inertynit. Nielicznie występują w skale również ziarna semifurynitu i rezynitu oraz spory. Pomierzona mediana średnich wartości refleksyjności wityrynit (R_o) obserwowanego w allochtonicznych ziarnach wynosi 1,16%. Stopień przeobrażenia termicznego wityrynit tworzącego laminy jest wyraźnie niższy i wyrażony jest średnią wartością parametru R_o w wysokości 0,78% (Grotek, 1985).

W warstwach gipsowych dolnych nie został określony skład grupowy macerałów. W próbkach skał stwierdzono niewielkie ilości drobnych, silnie rozproszonych ziaren, wśród których rozpoznany został przede wszystkim wityrynit oraz inertynit, a także pojedyncze ziarna fuzynitu. Większość okruchów jest spirytyzowana lub poprzerastana substancją ilastą, co utrudnia identyfikację oraz pomiar refleksyjności macerałów. Średnia wartość R_o wynosi 1,47%, jednak w każdej z próbek pomiar wykonany został na zaledwie kilkunastu ziarnach wityrynit (Grotek, 1985).

Warstwy sulechowskie charakteryzuje obecność niewielkich, drobnych okruchów organicznych należących głównie do grupy inertynit, w tym fuzynit i mikrynit, a także niewielkie ilości macerałów wityrynit. Macerały znajdują się w stanie silnego rozproszenia, a ich powierzchnie są często zmodyfikowane działalnością bakterii. Podobnie jak w przypadku próbek skał warstw gipsowych dolnych, R_o pomierzono na podstawie ograniczonej liczby pomiarów, a ich wartości wyniosły średnio 1,33% (Grotek, 1985).

Utwory wapienia muszlowego zawierają materię organiczną tworzącą cienkie laminy lub rozproszoną w skale postacią drobnych ziaren. Skład grupowy macerałów dominuje grupa wityrynit, której zawartość w skale waha się od 70 do 85 %. Grupa inertynit stanowi 10–15% macerałów, zaś w skład pozostałych 15% wchodzi amorficzna materia organiczna przemieszana z minerałami ilastymi, która tworzy asocjacje organiczno-mineralne typu bitumicznego (tab. 12; Grotek, 1985). Wśród macerałów grupy wityrynit obserwuje się głównie wityrynit, telinit i kolinit, zaś mikrynit, fuzynit oraz semifuzynit reprezentują w wapieniu muszlowym grupę inertynit. W niektórych próbkach obserwuje się sporadycznie sporynit oraz egzynit z grupy liptynit. Na głębokości 1881,0 m oraz 1881,5 m, poza autochtoniczną materią organiczną tworzącą cienkie laminy, w skale występują również otoczaki wityrynit, mikrynit, semifuzynit oraz rezy-

Tabela 12

Wyniki analizy mikroskopowej materii organicznej w otworze Pila 1/IG 1

R_o – refleksyjność wityryny; AOM – amorficzna materia organiczna; I – dane pochodzące z pracy Kiersnowski i in., (2017); II – dane pochodzące z pracy Żelichowski (1985a); T3 – trias górny; T2 – trias środkowy; P2 – cechsztyń; C – karbon

The results of microscopy analysis of organic matter in borehole Pila 1/IG 1

Explanations: R_o – vitrinite reflectance; AOM – amorphous organic matter; I – data derived from Kiersnowski et al., (2017);

II – data derived from Żelichowski (1985a); T3 – Upper Triassic; T2 – Middle Triassic; P2 – Zechstein; C – Carboniferous

Stratygrafia Stratigraphy	Głębokość Depth [m]	śr. R_o avg. R_o [%]	Skład maceralny [%] Maceral composition			
			Wityrynit Vitrinite	Lityrynit Liptinite	Inertyrynit Inertinite	AOM
T3	1473,0 ^I	0,77	85	5	10	0
	1475,0 ^I	0,78	80	10	10	0
	1476,0 ^I	0,78	85	5	10	0
	1583,0 ^{II}	1,60	–	–	–	–
	1584,0 ^{II}	1,38	–	–	–	–
	1586,0 ^{II}	1,48	–	–	–	–
	1588,0 ^{II}	1,58	–	–	–	–
	1590,0 ^{II}	1,30	–	–	–	–
	1736,0 ^{II}	1,20	–	–	–	–
	1739,0 ^{II}	1,40	–	–	–	–
	1742,0 ^{II}	1,40	–	–	–	–
T2	1879,0 ^I	1,10	70	0	10	15
	1880,0 ^I	1,00	70	0	15	15
	1881,2 ^I	1,04	75	0	10	15
	1881,5 ^{II}	1,14	–	–	–	–
P2	1882,0 ^I	1,05	80	0	5	15
	4155,5 ^{II}	3,30	–	–	–	–
	4159,1 ^I	1,90	10	–	–	90
	4163,6 ^I	1,87	15	–	5	80
	4173,0 ^{II}	3,40	–	–	–	–
	4375,0 ^{II}	–	–	–	–	–
	4379,1 ^I	2,32	15	0	5	80
C	4380,0 ^{II}	–	–	–	–	–
	5474,0 ^{II}	–	–	–	–	–

nitru pochodzące z redepozycji. Podobnie jak w przypadku allochtonicznej materii organicznej w próbkach piaskowca trzcinowego, refleksyjność wityryny otoczków jest nieco wyższa ($R_o = 1,55\%$) od ziaren wityryny zawartych w laminach ($R_o = 1,01\%$ oraz $1,14\%$). Średnia refleksyjność wityryny dla wszystkich przebadanych próbek wapienia muszlowego wynosi $1,07\%$ (Grotek, 1985).

Analiza geochemiczna

Przebadane warstwy triasu górnego zawierają zróżnicowane, lecz na ogół niskie ilości węgla organicznego (średnia $\%C_{org} = 0,19\%$). Minimalna zawartość $\%C_{org}$ obserwowana w tych utworach wynosi $0,1\%$, zaś maksymalna $0,6\%$. Wartość graniczną dla potencjalnych skał macierzystych ($\%C_{org} = 0,5\%$; wg Dembicki, 2017) przekraczają jedynie dwie, stropowe próbki piaskowca trzcinowego (głęb. 1473,0 m oraz 1473,5 m). Zawartość bituminów w skałach triasu górnego jest niewielka i waha się między $0,001$ a $0,015\%$ (śr. $0,007\%$; tab. 13), zaś zawartość węglowodorów w bituminach wynosi 16 – 46% (Kiersnowski i in., 2017). Tak zróżnicowany udział

węglowodorów w bituminach pozwala wnioskować, że część z nich jest epigenetyczna z osadem, choć występują w nich również związki syngenetyczne.

Utwory triasu środkowego, reprezentowane przez wapienie muszlowe, charakteryzuje średnia zawartość węgla organicznego w wysokości $0,36\%$. Udział węgla organicznego stopniowo maleje od spągu ($\%C_{org} = 0,6\%$) do stropu ($\%C_{org} = 0,2\%$). Bituminy występują w ilości od $0,015$ do $0,029\%$ (śr. $0,016\%$; tab. 13), a udział węglowodorów w bituminach jest stosunkowo wysoki (36 – 56% ; Kiersnowski i in., 2017), co wskazuje na ich epigenetyczność.

Badania wyekstrahowanych ze skał triasu górnego i środkowego bituminów w podczerwieni pozwoliły na stwierdzenie dominującego udziału węglowodorów nasyconych. Krzywe adsorpcji w podczerwieni bituminów zawierały również szczególnie intensywne pasma charakterystyczne dla grupy karbonylowej oraz słabo zaznaczone pasma absorpcji pierścieni aromatycznych. Taki przebieg krzywych wskazuje na genetyczne powiązanie z materią organiczną typu sapropelowego (pochodzącego ze szczątków alg i bakterii). Ponadto, w próbach bituminów kajpru obserwuje się dodatkowe pasma absorpcji

Tabela 13

**Tabela 13. Wyniki badań geochemii organicznej
w otworze Piła 1/IG 1**

Objaśnienia: %C_{org} – zawartość węgla organicznego;
śl. – śladowe ilości; T3 – trias górny; T2 – trias środkowy;
P2 – cechsztyń; C – karbon

Results of organic geochemistry analysis in borehole Piła 1/IG 1²

Explanation: %C_{org} – total organic carbon; śl. – trace amounts;

T3 – Upper Triassic; T2 – Middle Triassic; P2 – Zechstein;

C – Carboniferous

Stratigrafia Stratigraphy	Głębokość Depth [m]	%C _{org}	Bituminy Bitumen [%]
T3	1473,0	0,6	0,011
	1473,5	0,6	0,010
	1474,0	0,4	0,007
	1474,5	0,2	0,008
	1475,0	0,3	0,005
	1475,5	0,1	0,004
	1476,0	0,2	0,008
	1476,5	0,1	0,005
	1477,0	śl.	0,003
	1478,5	0,1	0,001
	1479,0	0,2	0,004
	1584,0	0,1	0,015
	1584,5	0,1	0,004
	1586,0	0,1	0,006
	1587,5	0,1	0,005
	1588,0	0,1	0,003
	1590,0	0,1	0,006
	1736,1	0,1	0,006
	1737,0	0,1	0,014
	1738,0	śl.	0,003
	1739,0	śl.	0,004
	1739,3	0,1	0,009
	1740,0	śl.	0,008
	1742,0	0,1	0,007
	1742,5	śl.	0,009
T2	1879,0	0,2	0,029
	1880,5	0,2	0,013
	1881,0	0,4	0,012
	1881,2	0,4	0,013
	1882,0	0,6	0,015
P2	4159,1	0,5	0,003
	4163,6	0,4	0,007
C	5470,9	0,1	śl.

w zakresie sugerującym obecność ftalanów, szczególnie silnie zaznaczone w próbkach z głęb. 1476,0 m 1479,0 m, 1587,5 m, 1737,0 m, 1739,0 m oraz 1793,3 m (Rzepakowska, 1985). Występowanie ftalanów sugeruje, że skały macierzyste dla badanych bituminów znalazły się pod wpływem silnego impulsu termicznego (np.: Peters i in., 2005).

Perm

W ramach badań materii organicznej w otworze Piła 1/IG 1 pod kątem petrologicznym przeanalizowano siedem próbek permu, w tym dla utworów dolomitu głównego (głęb. 4155,5¹ m, 4159,1 m), anhydrytu górnego (głęb. 4163,6 m, 4173,0 m), anhydrytu dolnego (głęb. 4375,0 m) oraz wapienia cechsztyńskiego (głęb. 4379,1 m, 4380,0² m). Analizie geochemicznej poddano jedynie dwie próbki pobrane z warstw należących do dolomitu głównego (głęb. 4159,1 m) oraz anhydrytu górnego (głęb. 4163,6³ m).

Badania petrologiczne

Skład grupowy macerałów w badanych utworach cechsztynu jest zbliżony. Skały te zawierają w swoim składzie materię organiczną o pochodzeniu zarówno pierwotnym, jak i wtórnym. Dominującym składnikiem skał jest amorficzna materia ogranicza tworząca asocjacje organiczno-mineralne z minerałami ilastymi (80–90%; tab. 12). Wśród pierwotnych składników skał wymienia się przede wszystkim macerały grupy wityrytu (do 15%), wśród których kolinit odznacza się najwyższą koncentracją, zaś towarzyszącą macerałom wityrytu grupę inertynitu (do 5%) reprezentuje fuzynit, semifuzynit oraz mikrynit (Kiersnowski i in., 2017).

W próbkach dolomitu głównego z głęb. 4155,5 (zob. przypis nr 2 powyżej) m oraz anhydrytu górnego z głęb. 4173,0 m stwierdzono obecność licznych detrytusów organicznych w postaci otoczków, nieobtoczonych okruchów oraz wydłużonych ziaren, tworzących cienkie laminy. Znaczna część składników organicznych w skale jest spirytyzowana i zmylonityzowana. W próbkach z głęb. 4375,0 m oraz 4380,0 nie stwierdzono obecności organiki (Grotek, 1985).

Analiza geochemiczna

Poddane analizie bituminów próby permu pochodzą z dolomitu głównego oraz anhydrytu górnego. Zawartość węgla organicznego w tych horyzontach to odpowiednio 0,5 oraz 0,4% wag. skały, zaś bituminy stanowią 0,003 oraz 0,007% wag. skały (tab. 13). Obecne w próbce dolomitu głównego bituminy cechuje wysoki stopień przeobrażenia termicznego,

¹ Według rdzenia strop dolomitu głównego na 4157,25 m. Rzędna próbki ustalona prawdopodobnie na podstawie danych geofizycznych.

² Według rdzenia strop wapienia cechsztyńskiego na 4380,8 m. Rzędna próbki ustalona prawdopodobnie na podstawie danych geofizycznych.

³ Wg rdzenia strop anhydrytu górnego na 4163,8 m. Rzędna próbki ustalona prawdopodobnie na podstawie danych geofizycznych.

natomiast bituminy w próbce anhydrytu górnego wykazują charakter mikroropy. Badania bituminów w podczerwieni pozwoliły zaobserwować obecność pasm absorpcji typowych dla węglowodorów nasyconych. Pasma absorpcji charakterystyczne dla węglowodorów aromatycznych odznaczają się bardzo słabą intensywnością. Jest to typowe dla substancji organicznej o pochodzeniu sapropelowym (Rzepkowska, 1985).

Karbon

Materia organiczna skał karbonu przebadana została dwoma próbkami, z których próbkę z głęb. 5474,0 m wykorzystano do badań petrologicznych, a próbkę z głęb. 5470,9 m przebadano pod względem zawartości węgla organicznego i bituminów. W próbce petrologicznej nie zaobserwowano obecności materiału organicznego. Próbka poddana analizie chemicznej charakteryzuje się bardzo niską zawartością węgla organicznego ($\%C_{org} = 0,1\%$ wag.) oraz śladową ilością bituminów. Z tego względu, oba przebadane horyzonty karbonu można uznać za niemal jałowe w kontekście obecności składników organicznych.

Wnioski

Źródła materii organicznej

Przebadane skały triasu górnego przypisano stratygraficznie lądowym utworom kajpru. Znaczna przewaga macerałów grupy wityritu, wyraźny odsetek macerałów grupy inertynitu, a także obecność spornitu oraz egzynitu z grupy liptynitu sugeruje, że materia organiczna zachowana w osadach kajpru ma charakter przede wszystkim lądowy. W utworach piaskowca trzcinowego, skład maceralny redeponowanych otoczków ilów oraz okruchów organicznych jest również typowy dla roślin lądowych. Skład i własności optyczne bituminów wyekstrahowanych ze skał triasu górnego nie pokrywają się ze składem rozproszonej w nich materii organicznej i najprawdopodobniej zostały one wygenerowane z silnie przeobrażonych termicznie skał macierzystych zawierających morską materię organiczną.

Wapień muszlowy zawiera w swoim składzie przede wszystkim macerały grupy wityritu z drugorzędym udziałem macerałów grupy inertynitu oraz amorficznej materii organicznej typu bitumicznego. Obecność amorficznej materii organicznej typu bitumicznego jest interpretowana w literaturze jako produkt degradacji kerogenu, którego źródłem są szczątki bakterii i alg (Hackley i in., 2018). Z tego wzglę-

du wapień muszlowy najprawdopodobniej zawiera w swoim składzie mieszany, lądowo-morski typ materii organicznej. Obecne w skale bituminy ekstrahowalne mają charakter epigenetyczny i z uwagi na przewagę składników alifatycznych pochodzą ze skał macierzystych o typowo morskim składzie materii organicznej.

Skład maceralny utworów cechsztynu jest zdominowany przez amorficzną materię organiczną typu bitumicznego z domieszką typowo lądowych macerałów z grupy wityritu oraz inertynitu. Z tego względu, macierzysta materia organiczna jest najprawdopodobniej morska z domieszką szczątków roślin naczyniowych. Znajdujące się w skałach bituminy zostały wygenerowane z kerogenu o analogicznym pochodzeniu co macierzysta materia organiczna. Dostępne dane nie pozwalają jednak wykluczyć obecności bituminów pochodzących z migracji w przebadanych utworach cechsztynu.

Dojrzałość termiczna materii organicznej

Dojrzałość termiczną materii organicznej w utworach triasu i permu z otworu Piła 1/IG 1 określono przy zastosowaniu wskaźnika refleksyjności wityritu. Pomiar R_o wykonano w dwóch osobnych badaniach. Pierwsze badanie przeprowadzono na potrzeby dokumentacji wynikowej otworu badawczego Piła 1/IG 1 (Grotek, 1985), a drugie badanie zrealizowano na potrzeby oceny perspektywiczności geologicznej obszaru przetargowego „Piła” (Kiersnowski i in., 2017). Z uwagi na wyraźne różnice w wartościach średnich R_o pomierzonych dla poszczególnych warstw między przeprowadzonymi badaniami oraz niejednokrotnie niską liczbę pomiarów dla poszczególnych próbek analizowanych w ramach dokumentacji wynikowej otworu, na potrzeby interpretacji dojrzałości termicznej oparto się wyłącznie na wynikach opublikowanych w pracy Kiersnowskiego i in., (2017).

Analiza zmian średniej R_o w profilu pionowym wykazuje wyraźny wzrost wartości parametru wraz z głębokością pograżenia – od 0,77–0,78% w piaskowcu trzcinowym (głęb. 1473,0–1476,0 m), co wskazuje na wczesną fazę generowania ropy naftowej, poprzez 1,0–1,1%, w skałach wapienia muszlowego (głęb. 1779,0–1882,0 m), co odpowiada oknu ropnemu, do 1,87–2,32% w utworach cechsztynu (głęb. 4159,1–4379,1 m), co wskazuje na okno gazu mokrego (tab. 12; wg. Dembicki, 2017).

Perspektywiczność skał macierzystych

Przebadane utwory triasu, permu i karbonu są mało perspektywiczne dla generowania ropy naftowej i gazu ziemnego. Zawarte w nich niewielkie ilości węglowodorów mają w głównej mierze charakter epigenetyczny.