

Potencjał naftowy utworów dolomitu głównego w strefie Kamienia Pomorskiego. Część 1 — Macierzystość

Maciej J. Kotarba*, Paweł Kosakowski*, Dariusz Więclaw*, Adam Kowalski*

Petroleum potential of Main Dolomite strata of the Kamień Pomorski area (northern Poland). Part 1 — Source rock. *Prz. Geol.*, 51: 587–594.

Summary. Based on the results of geochemical analyses, 56 Main Dolomite profiles in the Kamień Pomorski carbonate platform and its immediate vicinity were characterised for source rock properties. The highest TOC values, to 5.8% wt., could be observed in the mudstone facies in the bay of basin plain. Mudstone facies in the shallower part of the basin plain and in the slope of the carbonate platform had a lower TOC, down to 1.36% wt. The boundstone facies in the saline zone had a very low residual genetic potential. However this rock probably contained algal organic matter which initial hydrocarbon potential run down during thermal maturation. As a result, the boundstone facies was classified as efficient source rock. In the analysed area of the Main Dolomite, oil-prone kerogen type II dominates. The share of kerogen type I and III is small. Identified kerogen II type has a high hydrocarbon potential. The organic matter in the analysed Main Dolomite strata is immature or low mature which corresponds to the end of microbial phase generation and beginning of the "oil window" phase.

Key words: Main Dolomite, source rock, petroleum geochemistry, paleogeographic zones, Kamień Pomorski carbonate platform

Charakterystyka geochemiczna materii organicznej dolomitu głównego strefy Kamienia Pomorskiego, w zakresie zawartości węgla organicznego, typu genetycznego kerogenu i stopnia jego przeobrażenia, uszczegółowia dotychczasowe wyniki badań regionalnych na obszarze Pomorza Zachodniego (Kotarba i in., 1998). Dotyczy ona rozkładu macierzystości dolomitu głównego w poszczególnych strefach paleogeograficznych z jej ilościową kwalifikacją wyróżnionych facji madstonowej, wakstonowej, pakstonowej, greinstonowej i bandstonowej w ujęciu Dunhama (1962). Rozkład stref paleogeograficznych oraz lokalizację 56 odwiertów, których profile utworów dolomitu głównego poddano badaniom organo-geochemicznym przedstawiono na ryc. 1.

Pozycja paleogeograficzna i układ litofacjalny dolomitu głównego

W strefie Kamienia Pomorskiego, obejmującej północno-zachodnią część polskiego basenu cechsztyńskiego, wyróżnia się trzy odrębne systemy depozycyjne węglanów: równi basenowej, stoku platformy węglanowej i platformy węglanowej (Wagner, 1994, 2000; Dadlez i in., 1998).

System depozycyjny dolomitu głównego w strefie **równi basenowej** charakteryzuje się kondensacją osadów w niskoenergetycznym środowisku sedimentacji, poniżej podstawy falowania. Miąższość osadów węglanowych jest tu niewielka i wynosi poniżej 10 m (Wagner, 1994; 2000). Wyróżnia się dwa główne typy madstonowych sekwencji facjalnych: mikrytów laminowanych materiałem ilastym i mikrytów laminowanych materiałem ilastym z materią organiczną.

System depozycyjny **stoku platformy węglanowej** reprezentuje dwa typy środowiska sedimentacji: głębokowodnej, niskoenergetycznej strefy równi basenowej oraz płytkowodnej, wysokoenergetycznej platformy węglanowej. Duże zróżnicowanie miąższości i facji osadów stokowych wynika głównie z morfologii krawędzi platformy węglanowej, kąta nachylenia stoku oraz prądów morskich przemieszczających się równoległe do stoku platform (Wagner, 2000). Występują tu głównie facje madstonowe,

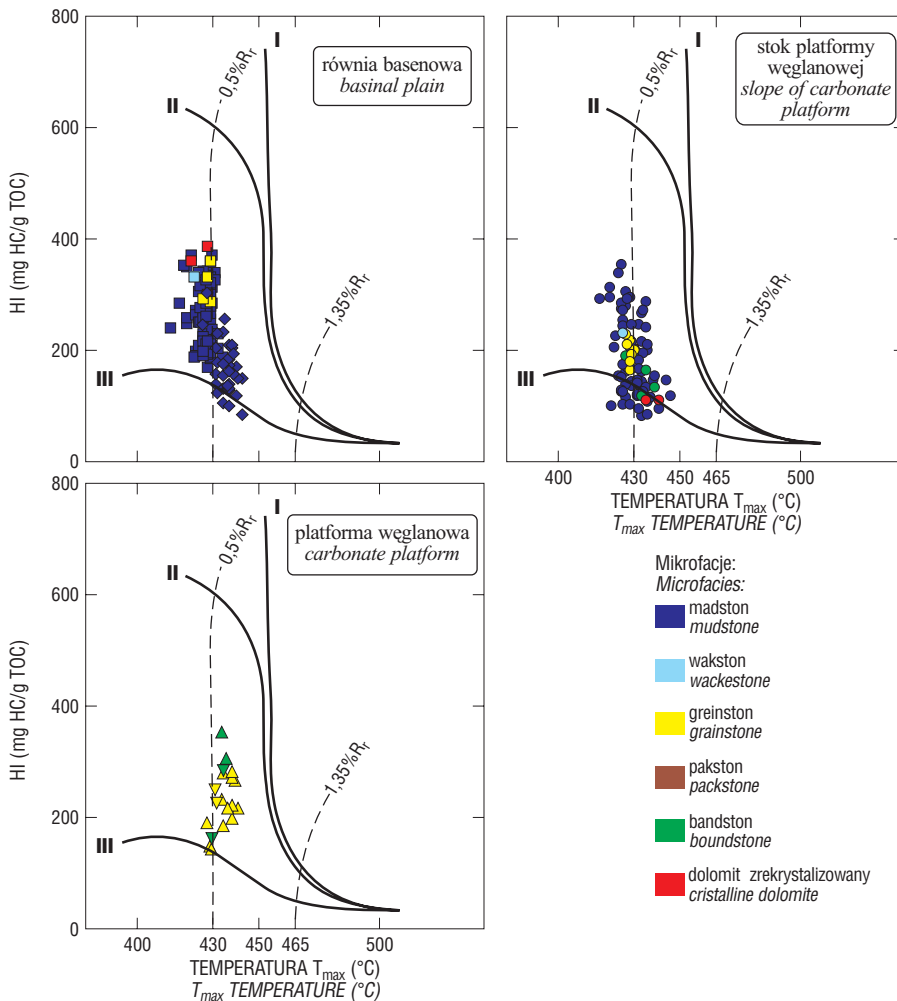
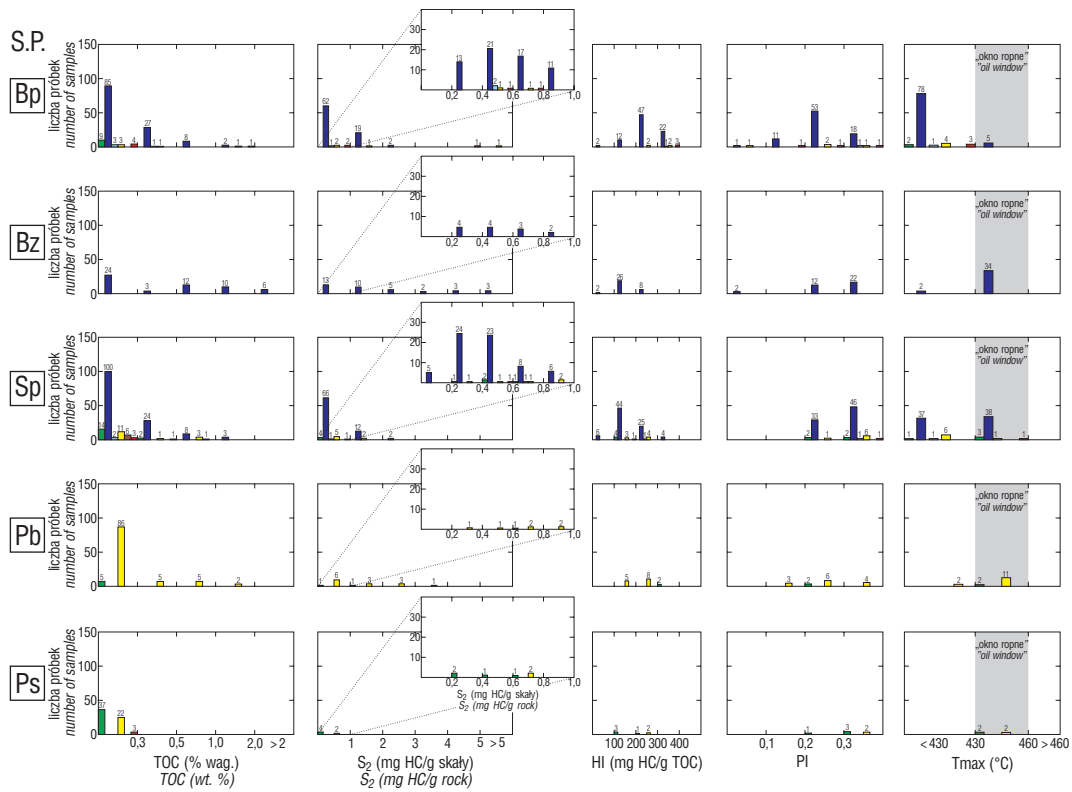
wakstonowe i pakstonowe, z licznymi elementami redeponowanymi z wyżej energetycznych środowisk barierowych, czyli greinstonów oolitowych, peloidów, fauny i lokalnie brekcji wapiennej. W środkowej części stoku plat-



Ryc. 1. Mapa paleogeograficzna utworów dolomitu głównego platformy węglanowej Kamienia Pomorskiego z obszarami przyległymi (wg Wagnera, 2000) z lokalizacją opróbowanych odwiertów i symbolami, które zostały użyte na ryc. 3–6

Fig. 1. Paleogeographic map of Zechstein Main Dolomite strata of Kamień Pomorski carbonate platform (after Wagner, 2000) with location of sampled wells and symbols used in Figs. 3 to 6

*Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków



Ryc. 3. Korelacja pomiędzy wskaźnikiem wodorowym a temperaturą T_{max} . Krzywe przeobrażenia poszczególnych typów kerogenu i zakresy dojrzałości termicznej wg Espitalie i in. (1985). Symbole stref paleogeograficznych jak na ryc. 1

Fig. 3. Hydrogen index vs. T_{max} Temperature. Maturation paths for kerogens after Espitalie et al. (1985). Symbols of paleogeographic zones as in Fig. 1



Ryc. 2. Histogramy całkowitej zawartości węgla organicznego (TOC), zawartości węglowodorów rezydualnych (S_2), wskaźnika wodorowego (HI), wskaźnika produktywności (PI) oraz temperatury T_{max} utworów dolomitu głównego w poszczególnych strefach paleogeograficznych basenu z uwzględnieniem identyfikacji mikrofacjalnej dla próbek, gdzie nie stwierdzono obecności węglowodorów napływowych. S.P. — strefa paleogeograficzna, objaśnienia skrótów stref paleogeograficznych — patrz tab. 1, objaśnienie kolorów mikrofacji — patrz ryc. 3

Fig. 2. Histograms of total organic carbon (TOC), residual hydrocarbons potential (S_2), hydrogen index (HI), production index (PI) and T_{max} temperature for Main Dolomite strata representing individual paleogeographic zones with identification of microfacies for samples containing only syngenetic hydrocarbons. S.P. — paleogeographic zone, explanation of paleogeographic zones — see Tab. 1, explanation of microfacies colors — see Fig. 3

formowego występują znaczne ilości mikrofauny otwornic i małżoraczków. Miąższość osadów stoku platform węglanowych jest bardzo zróżnicowana i wynosi przy ostrym nachyleniu stoku do 10 m, a przy przeciętnie nachylnym stoku nawet do 40 m (Wagner, 1994; 2000).

System depozycyjny **platformy węglanowej**, występujący w rozległych tarasach sedymentacji płytkowodnej, zawiera osady wysokoenergetyczne o przeciętnej miąższości 30–40 m, osiągając lokalnie w kulminacjach 60–80 m (Wagner, 1994). Wyróżnia się tu dwie główne strefy facjalne: barierową i lagunową. W strefie barierowej najniższą część profilu dolomitu głównego tworzą bandstony i pakstony bioklastyczne lub greinstony oolitowe, część środkową poziomy madstonów i wakstonów, a w górnej części profilu dominują warstwowane krzyżowo greinstony oolitowe z cienkimi przewarstwieniami stabilizujących osad warstw mikrobialnych. Wiele profili jest zbudowanych w całości z wysokoenergetycznych greinstonów. Strefa laguno-

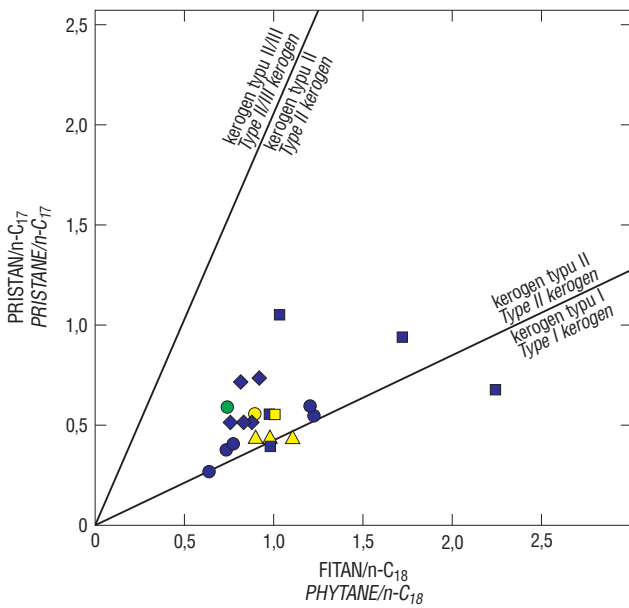
wa była bardzo zróżnicowana batymetrycznie i mikrofacjalnie, w wyniku czego w obrzeżeniach platformy, za barierami i mieliznami oolitowymi oraz między nimi powstawały madstony i wakstony wzbogacone w substancję organiczną, natomiast na rozległych równiach mułowych w podobnym typie osadów występuje znaczny udział utworów mikrobialnych (Wagner, 2000). W obrębie lagun powstawały również liczne lokalne bariery i mielizny zbudowane głównie z warstwowanych krzyżowo greinstonów oolitowych i peloidowych. W kierunku brzegu basenu rozwinęły się facje sebhya i saliny. Ich powstaniu sprzyjało płytkowodne środowisko, podwyższone zasolenie wód oraz gorący i skrajnie suchy klimat. W strefie tej tworzyły się osady mikrobialne oraz greinstony oolitowe z licznymi konkrecjami anhidrytów. W strefie przybrzeżnej występują dość cienkie, od kilku do kilkunastu metrów osady siarczanowe z niewielką domieszką osadów terygeniczych.

Tab. 1. Parametry i wskaźniki z analizy pirolitycznej Rock Eval dla próbek nie zawierających węglowodorów epigenetycznych
Table 1. Parameters and indices of Rock Eval analysis for samples without epigenetic hydrocarbons

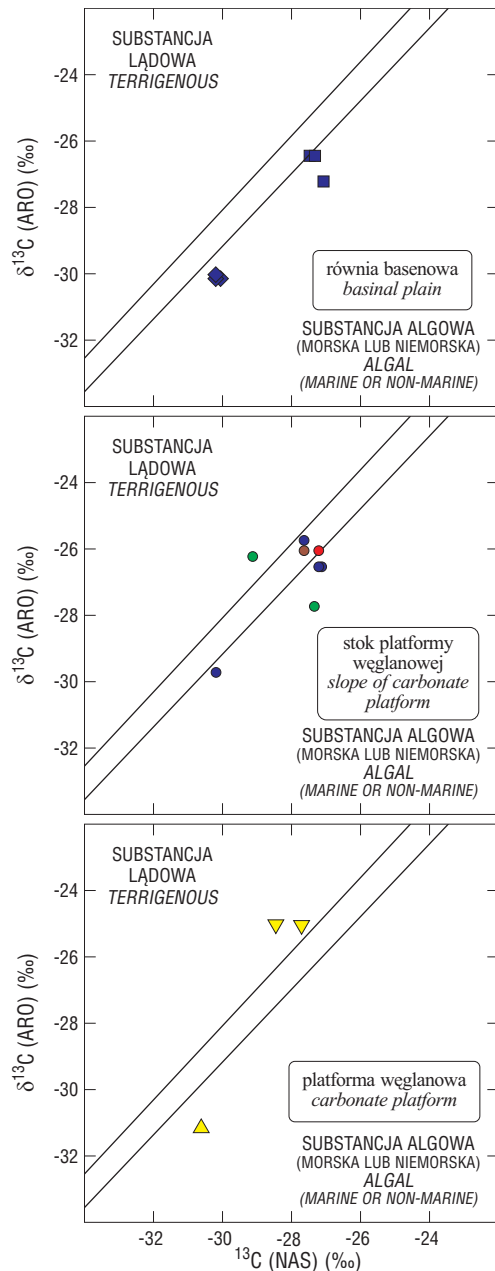
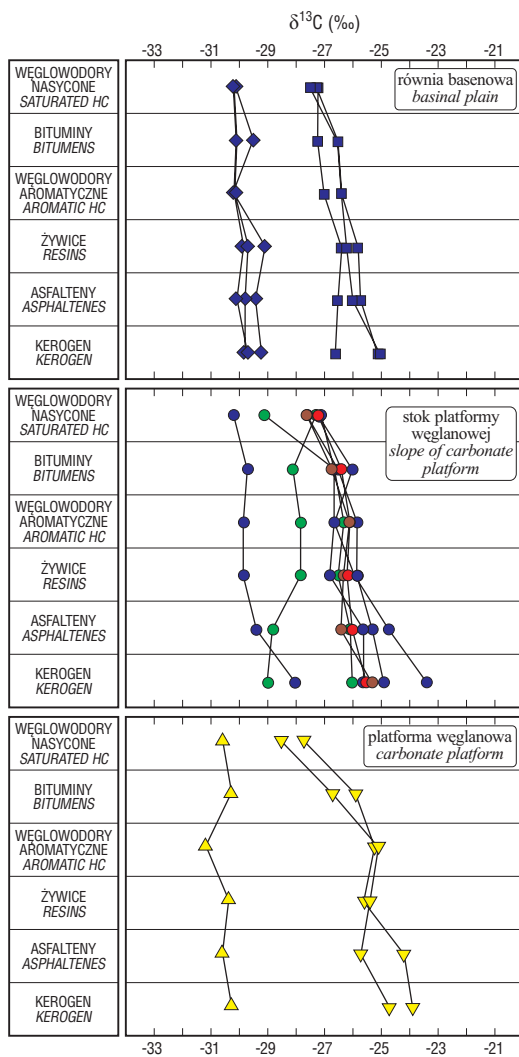
Mikrofacje Microfacies	TOC (% wag.)			HI (mg HC/g TOC)			PI			Tmax (°C)		
	zakres zmienności range	wartość średnia mean	n	zakres zmienności range	wartość średnia mean	n	zakres zmienności range	wartość średnia mean	n	zakres zmienności range	wartość średnia mean	n
Płytsza część równi basenowej Shallower part of basinal plain (Bp)												
Bandston <i>boundstone</i> (B)	0,01-0,10	0,07	9									
Greinston <i>grainstone</i> (G)	0,09-1,99	0,58	5	287-361	319	4	0,07-0,35	0,22	4	426-429	428	4
Madston <i>mudstone</i> (M)	0,01-1,36	0,27	122	169-371	366	83	0,09-0,35	0,26	83	412-434	427	83
Wakston <i>wackstone</i> (W)	0,01-0,16	0,09	3	331		1	0,38		1	422		1
Dolomit zrekrytalizowany <i>Cristalline dolomite</i> (CC)	0,01-1,29	0,35	5	300-386	349	3	0,16-0,31	0,24	3	421-428	426	3
Zatoka równi basenowej Bay of basinal plain (Bz)												
Madston <i>mudstone</i> (M)	0,01-5,81	0,87	55	82-300	165	36	0,03-0,38	0,30	36	426-444	437	36
Stok platformy węglanowej Slope of carbonate platform (Sp)												
Bandston <i>boundstone</i> (B)	0,05-0,47	0,16	16	117-191	151	4	0,29-0,38	0,32	4	427-440	434	4
Greinston <i>grainstone</i> (G)	0,06-0,81	0,27	15	165-229	200	7	0,29-0,36	0,32	7	427-431	429	7
Madston <i>mudstone</i> (M)	0,00-1,36	0,23	135	83-356	184	79	0,21-0,39	0,31	79	416-447	431	75
Pakston <i>packstone</i> (P)	0,08-0,14	0,11	6									
Wakston <i>wackstone</i> (W)	0,18-0,29	0,24	2	231		1	0,31		1	426		1
Dolomit zrekrytalizowany <i>Cristalline dolomite</i> (CC)	0,07-0,48	0,18	4	110		1	0,38		1	442		1
Przykrawędziowa bariera oolitowa Barrier reef (Pb)												
Bandston <i>boundstone</i> (B)	0,01-0,30	0,15	5	308-353	331	2	0,23	0,23	2	435-437	436	2
Greinston <i>grainstone</i> (G)	0,00-1,20	0,12	98	145-283	221	13	0,18-0,40	0,27	13	427-442	437	13
Salina platformy węglanowej Saline of carbonate platform (Ps)												
Bandston <i>boundstone</i> (B)	0,00-0,27	0,07	37	167-288	200	4	0,27-0,40	0,34	4	431-436	434	2
Greinston <i>grainstone</i> (G)	0,01-0,30	0,08	22	230-252	241	2	0,31-0,36	0,33	2	432-433	432	2
Dolomit zrekrytalizowany <i>Cristalline dolomite</i> (CC)	0,05-0,08	0,06	3									

TOC — całkowita zawartość węgla organicznego, HI — wskaźnik wodorowy, PI — wskaźnik produktywności, Tmax — temperatura maksimum piku S_2 , n — liczba próbek;

TOC — total organic carbon (wt. %), HI — hydrogen index, PI — production index, Tmax — temperature of maximum of S_2 peak, n — number of samples



Ryc. 4. Charakterystyka genetyczna bituminów w oparciu o korelację wskaźników pristan/n-C₁₇ i fitan/n-C₁₈. Klasyfikacja wg Obermajera i in. (1999). Oznaczenia stref paleogeograficznych jak na ryc. 1, kolory mikrofacji jak na ryc. 3
Fig. 4. Genetic characterization of bitumens in terms of pristane/n-C₁₇ and phytane/n-C₁₈ according to the categories of Obermajer et al. (1999). Symbols of paleogeographic zones as in Fig. 1, colors of microfacies as in Fig. 3



Ryc. 6. Charakterystyka genetyczna bituminów na podstawie korelacji składu trwałych izotopów węgla w węglowodorach nasyconych i węglowodorach aromatycznych. Klasyfikacja genetyczna według Sofera (1984). Oznaczenia stref paleogeograficznych jak na ryc. 1, kolory mikrofacji jak na ryc. 3
Fig. 6. Genetic characterization of bitumens in terms of δ¹³C (saturated hydrocarbons) and δ¹³C (aromatic hydrocarbons) according to the categories of Sofer (1984). Symbols of paleogeographic zones as in Fig. 1, colors of microfacies as in Fig. 3



Ryc. 5. Skład trwałych izotopów węgla w bituminach, ich poszczególnych frakcjach i kerogenie. Oznaczenia stref paleogeograficznych jak na ryc. 1, kolory mikrofacji jak na ryc. 3
Fig. 5. Stable carbon isotope composition of bitumens, their individual fractions and kerogen. Symbols of paleogeographic zones as in Fig. 1, colors of microfacies as in Fig. 3

W środowisku sedymentacyjnym platform węglanych rozwijały się szczególnie intensywnie glony i sinice, odgrywające istotną rolę skałotwórczą, z wydatnym udziałem odłożonej biomasy. Zwiększone zasolenie basenu platform węglanych wpłynęło na powszechność występowania w nim środowiska redukcyjnego, nawet w płytkowodnych strefach lagunowych, co uchroniło substancję organiczną osadu od destrukcji poprzez utlenienie.

Powyższy stan rozpoznania rozwoju litologiczno-facjalnego dolomitu głównego pozwala na powiązanie jego mikrofacji z produktywnością organiczną w poszczególnych strefach paleogeograficznych i tym samym przyporządkować facje skał macierzystych umotywowanym geochemicznie partiom dolomitu głównego. Jest to równocześnie wyjściowy element oceny miąższości poziomów skał macierzystych w modelowaniach numerycznych procesów generowania i ekspulsji węglowodorów jako podstawy obliczeń potencjału węglowodorowego dolomitu głównego (Kosakowski i in., 2003).

Metodyka badań geochemicznych

Analizę pirolityczną wykonano za pomocą aparatu Rock Eval II. Opis metodyki tej analizy podano między innymi w pracach Kotarby i Szafrana (1985) oraz Wilczka i Merty (1992). Ekstrakcję bituminów ze skały prowadzono w aparacie Soxhleta używając jako czynnik ekstrahujący mieszaninę dichlorometan — metanol (93 : 7 obj.). Asfalteny wydzielono z bituminów przez wytrącanie w heksanie; otrzymane malteny rozdzielono na frakcje

węglowodorów nasyconych, węglowodorów aromatycznych i żywic na kolumnie chromatograficznej (20 x 0,6 cm, wypełnienie silikażel — tlenek glinu 1 : 2 obj.) stosując jako eluenty odpowiednio heksan, benzen i mieszaninę benzen-metanol (1 : 1 obj.). Dystrybucję n-alkanów i izoprenoidów oznaczono we frakcji węglowodorów nasyconych metodą kapilarnej chromatografii gazowej na przyrządzie firmy Hewlett Packard 5890 seria II wyposażonym w detektor płomieniowo-jonizacyjny (FID) oraz kolumnę HP-1 (25m x 0,2mm x 0,5µm). Pomiar składu trwałych izotopów węgla w bituminach, ich poszczególnych frakcjach i kerogenie przeprowadzono metodą *on-line* na spektrometrze masowym Finnigan Delta Plus sprzęgniętym z analizatorem elementarnym 1108 EA i podano w konotacji δ względem wzorca PDB. Błąd oznaczenia $\delta^{13}\text{C}$ wynosi $\pm 0,2\text{‰}$.

Wyniki badań i dyskusja

Ogólnie do badań geochemicznych pobrano 724 próbek rdzeniowych potencjalnych skał macierzystych dolomitu głównego. W celu odtworzenia pierwotnych cech macierzystości w wyróżnionych facjach dolomitu głównego wyeliminowano przedziały litologiczne, w których próbki zawierały węglowodory epigenetyczne. W tej procedurze wykorzystano wskaźnik produktywności $PI = S_1/(S_1+S_2)$ z analizy Rock Eval oraz stosunek zawartości bituminów do zawartości węgla organicznego — EOM/TOC, których wielkości PI powyżej 0,4 i EOM/TOC powyżej 50% wskazują na epigenetyczne wysycenie węglowodorowe skał (Hunt &

Tab. 2. Wskaźniki geochemiczne obliczone na podstawie dystrybucji n-alkanów i izoprenoidów we frakcji węglowodorów nasyconych

Table 2. Geochemical indices calculated from distribution of the n-alkanes and isoprenoids in fraction of saturated hydrocarbons

Odwiert <i>Well</i>	Głębokość <i>Depth [m]</i>	Mikrofacja <i>Microfacies</i>	CPI _(Total)	CPI ₍₁₇₋₂₃₎	CPI ₍₂₅₋₃₁₎	Pr/Ph	Pr/n-C ₁₇	Ph/n-C ₁₈
Płytsza część równi basenowej <i>Shallower part of basinal plain (Bp)</i>								
Międzyzdroje-5	2755,10	M	0,97	0,97	0,96	0,42	0,39	0,98
Przytór-2	2699,60	M	0,95	0,93	1,01	0,26	0,55	0,97
Przytór-3	2715,80	M	0,94	0,95	0,90	0,29	0,94	1,72
Wapnica-1	2812,10	G	0,97	0,92	1,01	0,26	0,55	1,00
Wapnica-2K	3027,55	M	1,16	1,02	1,20	0,24	0,67	2,24
Wickowo-1	2908,20	M	0,92	0,91	0,93	0,62	1,05	1,03
Zatoka równi basenowej <i>Bay of basinal plain (Bz)</i>								
Białokury-2	2699,20	M	0,93	0,91	0,91	0,87	0,71	0,81
Białokury-2	2703,35	M	0,97	1,02	0,92	0,87	0,72	0,91
Gosław-1	2612,30	M	0,91	0,91	0,96	0,50	0,50	0,88
Jarkowo-3	2785,60	M	1,05	1,06	1,07	0,74	0,50	0,76
Petrykozy-1	2623,50	M	0,96	0,96	0,98	0,50	0,50	0,83
Stok platformy węglanowej <i>Slope of carbonate platform (Sp)</i>								
Laska-1	2820,25	G	0,96	0,91	1,06	0,41	0,56	0,89
Moracz IG-1	3299,30	M	0,92	0,90	0,96	0,24	0,26	0,64
Rekowo-1	2666,15	B	0,98	0,93	1,06	0,53	0,59	0,74
Strzeżewo-1	2792,15	M	0,90	0,92	0,89	0,35	0,38	0,74
Strzeżewo-1	2807,95	M	0,95	0,91	1,00	0,37	0,39	0,77
Strzeżewo-1	2815,10	M	0,96	0,94	1,04	0,43	0,55	1,23
Strzeżewo-1	2823,03	M	0,96	0,96	0,96	0,30	0,59	1,21
Przykrawędziowa bariera oolitowa <i>Barrier reef (Pb)</i>								
Żółwino-1	2851,80	G	1,02	1,00	1,23	0,48	0,43	0,97
Żółwino-1	2853,80	G	1,02	0,98	1,23	0,41	0,44	0,90
Żółwino-1	2855,80	G	0,99	0,98	1,03	0,39	0,44	1,11

$CPI_{(Total)} = (C_{17}+C_{19}+...+C_{27}+C_{29})+(C_{19}+C_{21}+...+C_{29}+C_{31})/2*(C_{18}+C_{20}+...+C_{28}+C_{30})$ (Kotarba i in., 1994)

$CPI_{(17-23)} = (C_{17}+C_{19}+C_{21})+(C_{19}+C_{21}+C_{23})/2*(C_{18}+C_{20}+C_{22})$ (Kotarba i in., 1994)

$CPI_{(25-31)} = (C_{25}+C_{27}+C_{29})+(C_{27}+C_{29}+C_{31})/2*(C_{26}+C_{28}+C_{30})$ (Kotarba i in., 1994)

Pr — pristan, Ph — fitan, objaśnienia skrótów mikrofacji — patrz tab. 1

Pr — *pristane*, Ph — *phytane*, explanation for abbreviations of microfacies see table 1

McNichol, 1984; Espitalie & Bordenave, 1993). Według tych kryteriów wyeliminowano z oceny macierzystości w strefie płytszej części równi basenowej 40 próbek (22% analizowanej populacji), ze strefy zatoki równi basenowej 33 próbki (38%), z utworów skłonu platformy węglanowej 85 próbek (32%), ze strefy bariery platformy węglanowej 21 próbek (17%), a z saliny 3 próbki (co stanowi 5% populacji). W profilach 7 odwiertów (Błotno-2k, Brojce IG-1, Petrykozy-4k, Rymań-1, Unibórz-1, Warnowo-5 i Żółwino-2) stwierdzono bituminy epigenetyczne we wszystkich badanych próbkach.

Jakościową analizę macierzystości syngenetycznej materii organicznej oparto na klasycznych kryteriach typu kerogenu i stopnia jego dojrzałości (Hunt, 1996, Peters & Cassa, 1994), natomiast ilościowe kryterium macierzystości oparto na progowej zawartości węgla organicznego (0,3 % wag.) dla efektywnego generowania węglowodorów ze skał węglanowych (Bond, 1986). Jest to zgodne z wynikami doświadczeń Gehmana (1962), z których wynika, że wydajność węglowodorowa skał węglanowych jest kilkakrotnie wyższa od wydajności skał terygenicznych.

Analizę macierzystości dolomitu głównego platformy węglanowej Kamienia Pomorskiego i jej bezpośredniego otoczenia przeprowadzono w poszczególnych strefach paleogeograficznych.

W **płytszej części równi basenowej** kwalifikację macierzystości dolomitu głównego oparto na wynikach badań geochemicznych 144 próbek pobranych w profilach 15 odwiertów (tab. 1, ryc. 1). Analiza geochemiczna wykazała, że w dominującej tu facji madstonowej zawartość węgla organicznego waha się w przedziale od 0,01 do prawie 2% wag. (tab. 1) z przewagą wartości niskich, poniżej 0,3% wag. (ryc. 2). Zawartość węglowodorów rezydualnych w analizowanych próbkach jest niewielka i nie przekracza 3 mg HC/g skały (ryc. 2). Kerogen dolomitu

głównego płytszej części równi basenowej jest typu II z nieznacznym udziałem kerogenu typu I i III (ryc. 3–6). Środowisko depozycji materii organicznej było silnie redukcyjne na co wskazują wartości wskaźnika pristan/fitan (tab. 2) poniżej jedności (Didyk i in., 1978). Skład izotopowy bituminów i ich poszczególnych frakcji oraz kerogenu świadczy o wysokim stopniu jednorodności materii organicznej (ryc. 5). Stopień przeobrażenia kerogenu badanych utworów, wyrażony w skali temperatury T_{max} , odpowiada końcowemu stadium procesu mikrobiального i początkowym fazom niskotemperaturowego procesu termokatalitycznego (tab. 1, ryc. 2, 3). Analiza macierzystości płytszej części równi basenowej wykazała, że skały macierzyste o najlepszych cechach produktywności węglowodorowej występują w rejonie Międzyzdroje–Wapnica.

W obszarze objętym analizą w obrębie płytszej części równi basenowej wyróżnić można również **zatokę równi basenowej** — zatokę rewalską, głęboko wcinającą się w otaczające ją platformy węglanowe Kamienia Pomorskiego i pomorską. Analizę macierzystości utworów dolomitu głównego zatoki równi basenowej oparto na wynikach badań geochemicznych 55 próbek z 6 profili odwiertów (tab. 1, ryc. 1). Zawartość materii organicznej, w dominującej tu facji madstonowej, waha się w granicach od 0,01 do 5,8% wag. (tab. 1), przy ponad 50 % populacji próbek o ponadprogowej zawartości węgla organicznego (ryc. 2). Zawartość węglowodorów rezydualnych w większości przypadków przekracza 1 mg/g skały (ryc. 2). Substancja ta zawiera kerogen II typu (ryc. 3–6). Na jej redukcyjne środowisko depozycji wskazują niskie wartości stosunku pristan/fitan (tab. 2). Skład trwałych izotopów węgla w bituminach i ich poszczególnych frakcjach oraz w kerogenie świadczy o genetycznym powinowactwie bituminów i kerogenu (tab. 3, ryc. 5). Wyniki pomiarów temperatury

Tab. 3. Skład trwałych izotopów węgla bituminów, ich poszczególnych frakcji i kerogenu
Table 3. Stable carbon isotope composition of bitumens, their fractions and kerogen

Odwiert <i>Well</i>	Głębokość <i>Depth</i> [m]	Mikrofacja <i>Microfacies</i>	Skład grupowy (% wag.) <i>Fractions (wt. %)</i>				Skład trwałych izotopów węgla $\delta^{13}C$ (‰) <i>Stable carbon isotope composition</i>					
			nas	aro	żyw	asf	nas	bit	aro	żyw	asf	ker
Płytsza część równi basenowej <i>Shallower part of basinal plain (Bp)</i>												
Międzyzdroje-5	2753,50	M	34	19	34	13	-27,2	-27,2	-27,0	-26,4	-26,5	-26,6
Międzyzdroje-7k	2867,90	M	34	19	28	19	-27,5	-26,5	-26,4	-25,8	-25,7	-25,1
Przytór-2	2699,60	M	27	17	31	25	-27,3	-26,5	-26,4	-26,2	-26,0	-25,0
Zatoka równi basenowej <i>Bay of basinal plain (Bz)</i>												
Białokury-2	2703,35	M	33	27	19	21	-30,2	-30,1	-30,2	-29,9	-30,1	-29,7
Jarkowo-3	2785,60	M	18	32	20	30	-30,1	-29,5	-30,2	-29,1	-29,4	-29,2
Petrykozy-1	2623,50	M	25	28	27	20	-30,2	-30,1	-30,1	-29,7	-29,8	-29,8
Stok platformy węglanowej <i>Slope of carbonate platform (Sp)</i>												
Moracz IG-1	3297,85	M	27	20	33	20	-27,6	-26,5	-25,8	-25,8	-25,3	-24,9
Moracz IG-1	3299,30	M	35	22	17	26	-27,1	-26,6	-26,6	-26,8	-25,6	-25,6
Moracz IG-1	3309,00	CC	36	21	15	28	-27,2	-26,4	-26,1	-26,2	-26,0	-25,5
Samolino-1	3034,50	B	15	28	8	49	-27,3	-28,1	-27,8	-27,8	-28,8	-29,0
Strzeżewo-1	2792,20	M	23	22	17	38	-27,2	-26,0	-26,6	-25,9	-24,7	-23,4
Strzeżewo-1	2815,10	M	28	18	27	27	-30,2	-29,7	-29,8	-29,8	-29,4	-28,0
Wysoka Kamieńska-2	3081,30	P	34	18	26	22	-27,6	-26,7	-26,1	-26,3	-26,4	-25,3
Wysoka Kamieńska-8	3084,20	B	39	22	19	20	-29,1	-26,6	-26,3	-26,5	-26,1	-26,0
Przykrawędziowa bariera oolitowa <i>Barrier reef (Pb)</i>												
Żółwino-1	2851,80	G	18	26	13	43	-30,6	-30,3	-31,2	-30,4	-30,6	-30,3
Salina platformy węglanowej <i>Saline of carbonate platform (Ps)</i>												
Kamień Pomorski-7	2367,90	G	22	10	21	47	-27,7	-25,9	-25,2	-25,6	-24,2	-23,9
Kamień Pomorski-7	2385,70	G	8	6	12	74	-28,5	-26,7	-25,1	-25,4	-25,7	-24,7

nas — węglowodory nasycone, aro — węglowodory aromatyczne, żyw — żywice, asf — asfaltyny, bit — bituminy, ker — kerogen; nas — *saturated hydrocarbons*, aro — *aromatic hydrocarbons*, żyw — *resins*, asf — *asphaltenes*, bit — *bitumens*, ker — *kerogen*
Objaśnienie skrótów mikrofacji — patrz tab. 1 *Explanation for abbreviations of microfacies see table 1*

T_{max} wskazują, że materia organiczna utworów zatoki równi basenowej znajduje się w fazie niskotemperaturowych procesów termokatalitycznych (tab. 1, ryc. 2, 3). Skały macierzyste o najlepszych cechach produktywności węglowodorowej znajdują się w północnej i środkowej części tej strefy paleogeograficznej, natomiast w części południowej wysoki udział węglowodorów epigenetycznych ogranicza możliwość jednoznacznej oceny macierzystości skał.

W strefie paleogeograficznej **stoku platformy węglanowej** analizę macierzystości utworów dolomitu głównego oparto na wynikach badań geochemicznych 194 próbek z 12 profili odwiertów (tab. 1, ryc. 1). Przeprowadzona analiza mikrofacjalna wykazała, że dominuje tu facja madstonowa z podrzędnym udziałem pozostałych wydzielen mikrofacjalnych. Zawartość materii organicznej jest zmienna i waha się od 0,0 do 1,36% wag. TOC (tab. 1) z przewagą wartości poniżej 0,3% wag. (ryc. 2). Ponadprogowe zawartości TOC stwierdzono w 35 próbkach facji madstonowej, a w pozostałych facjach są to jedynie pojedyncze oznaczenia. Zawartość węglowodorów rezydualnych (S_2) jest niska i jedynie w madstonach przekracza 1 mg/g skały (ryc. 2). Zdeponowana materia organiczna jest pochodzenia morskiego — kerogen typu II (tab. 1, ryc. 3–6), z nieznacznym udziałem kerogenu lądowego typu III, którego obecność potwierdzono badaniami izotopowymi (tab. 3, ryc. 5, 6). Wartości stosunku pristan/fitan, wynoszące znacznie poniżej jedności (tab. 2) świadczą, że ewaporatowe środowisko depozycji materii organicznej było silnie redukcyjne. Stopień przeobrażenia badanej materii organicznej, określony temperaturą T_{max} , wskazuje na końcowy etap procesów mikrobialnych i wczesną fazę przemian niskotemperaturowych w oknie ropnym (tab. 1, ryc. 2, 3). Skały macierzyste o najlepszych cechach produktywności węglowodorowej występują w północno-wschodniej części stoku (profil odwiertu Strzeżewo-1).

W strefie paleogeograficznej platformy węglanowej Kamienia Pomorskiego wyróżnia się przykrawędziową barierę oolitową, salinę i właściwą platformę węglanową (Wagner, 2000). Zebrany materiał analityczny dotyczy wyłącznie dwóch pierwszych podstref.

W **przykrawędziowej barierze oolitowej** analizę macierzystości oparto na wynikach badań geochemicznych 98 próbek z facji greinstonowej i 5 próbkach z facji bandstonowej pobranych z 9 profili wierceń (tab. 1, ryc. 1). Zawartość materii organicznej w badanych próbkach waha się od 0,0 do 1,2% wag. TOC (tab. 1) z dominacją wartości niskich, poniżej 0,3% wag. (ryc. 2). Ponadprogowe zawartości TOC stwierdzono tylko w 12 próbkach greinstonów. Zawartość węglowodorów rezydualnych jest bardzo niska i tylko w 5 z nich przekracza 1 mg/g skały (ryc. 2). Zdeponowana materia organiczna jest typu II z nielicznymi wtrąceniami kerogenu mieszanego typu II/III (tab. 1, ryc. 3–6). Korelacja obliczonych wskaźników CPI z dystrybucji n-alkanów i izoprenoidów (tab. 2, ryc. 4) oraz składu trwałych izotopów węgla w węglowodorach nasyconych i aromatycznych (tab. 3, ryc. 5, 6) potwierdza występowanie algowego kerogenu typu II i z udziałem typu mieszanego II/I. Salinarne środowisko depozycji materii organicznej było silnie redukcyjne, co wynika z wartości wskaźnika pristan/fitan poniżej 0,5 (tab. 2). Niski stopień przeobrażenia kerogenu, określony temperaturą T_{max} , wskazuje na końcowy etap procesów mikrobialnych i początek fazy niskotemperaturowych procesów termokatalitycznych (tab. 1, ryc. 2, 3). Najlepszą macierzystość w

przykrawędziowej barierze oolitowej stwierdzono w profilu odwiertu Żółwino-1.

Analizę macierzystości utworów dolomitu głównego w **salinie** oparto na wynikach badań geochemicznych 62 próbek bandstonów i greinstonów, pobranych z 7 profili wierceń (tab. 1, ryc. 1). Zawartość materii organicznej w badanych facjach jest bardzo niska i wynosi poniżej 0,3% wag. (tab. 1, ryc. 2), a zawartość węglowodorów rezydualnych nie przekracza 1 mg/g skały (ryc. 2). Zdeponowana materia organiczna jest typu II z nieznacznym udziałem kerogenu pochodzenia lądowego (tab. 1, ryc. 3–6). Stopień przeobrażenia kerogenu w badanych facjach, określony wielkością temperatury T_{max} , wskazuje na początkową fazę niskotemperaturowych procesów termokatalitycznych (tab. 1, ryc. 2, 3). W obrębie tego wydzielenia paleogeograficznego nie stwierdzono poziomów spełniających ponadprogowe warunki macierzystości ze względu na wyczerpanie pierwotnego potencjału macierzystości algowej materii organicznej.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań geochemicznych (Rock Eval, dystrybucji n-alkanów i izoprenoidów oraz trwałych izotopów węgla) dokonano charakterystyki macierzystości utworów dolomitu głównego w obrębie platformy węglanowej Kamienia Pomorskiego oraz sąsiadujących z nią stref paleogeograficznych.

Najlepsze skały macierzyste stwierdzono w obrębie facji madstonowej zatoki równi basenowej, gdzie zawartość węgla organicznego dochodzi do 6% wag. TOC, przy średniej 0,9% wag. (tab. 1), a zawartość węglowodorów rezydualnych do 10 mg/g skały, przy średniej 2,1 mg HC/g skały. Znacznie niższymi parametrami macierzystości charakteryzuje się facja madstonowa płytszej części równi basenowej oraz stoku platformy węglanowej (tab. 1). Facja bandstonowa saliny platformy węglanowej, zawierająca pierwotną mikrobiálną materię organiczną, nie ujawnia ponadprogowej zawartości TOC, ze względu na wyczerpanie pierwotnego potencjału macierzystości. Z tego względu została ona zakwalifikowana do efektywnych skał macierzystych o zrealizowanym potencjale węglowodorowym.

We wszystkich strefach paleogeograficznych jest obecny ropotwórczy kerogen II typu, lokalnie z nieznacznym udziałem składowej lądowej oraz kerogenu typu I, który znajduje się w przedziale generacyjnym procesów mikrobialnych i niskotemperaturowych procesów termokatalitycznych.

Autorzy dziękują Panu doc. Ryszardowi Wagnerowi z Państwowego Instytutu Geologicznego w Warszawie za udostępnienie niepublikowanych materiałów i konsultacje. Niniejsza publikacja jest oparta na wynikach badań uzyskanych w trakcie realizacji prac statutowych nr 11.11.140.970, finansowanych przez Komitet Badań Naukowych i wykonanych w Zakładzie Surowców Energetycznych Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, z wykorzystaniem materiałów z grantu Komitetu Badań Naukowych nr 8 T12B 04021 oraz opracowań wykonanych dla Polskiego Górnictwa Naftowego i Gazownictwa S.A. w Warszawie.

Literatura

- BOND J.G. 1986 — Introduction to Exploration Geochemistry. IHRDC Publishers, GL 701 Petroleum Geology.
DADLEZ R., MAREK S. & POKORSKI J. (red.) 1998 — Atlas paleogeograficzny epikontynentalnego pemu i mezozoiku w Polsce. Państw. Inst. Geol.

- DIDYK B.M., SIMONEIT B.R.T., BRASSEL S.C. & EGLINTON G. 1978 — Organic geochemical indicators of paleoenvironmental conditions of sedimentation. *Nature*, 272: 216–222.
- DUNHAM R.J. 1962 — Classification of carbonate rocks according to depositional texture. [In:] Ham W.E. (ed.), *Classification of Carbonate Rocks*. AAPG Memoir, 1: 108–121.
- ESPITALIE J. & BORDENAVE M.L. 1993 — Rock Eval pyrolysis. [In:] Bordenave M.L. (ed.), *Applied petroleum geochemistry*. Technip., 237–261.
- ESPITALIÉ J., DEROO G. & MARQUIS F. 1985 — La pyrolyse Rock Eval et ses applications. *Revue IFP*, 40: 563–579; 755–784.
- GEHMAN H.M. jr. 1962 — Organic matter in limestones. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 26: 885–897.
- HUNT J. M. 1996 — *Petroleum geochemistry and geology*. W.H. Freeman and Company, San Francisco.
- HUNT J.M. & McNICHOL A.P. 1984 — The Cretaceous Austin Chalk of South Texas — A petroleum source rock. [In:] Palacas J.G. (ed.), *Petroleum geochemistry and source rock potential of carbonate rocks*. AAPG Studies in Geology, 18: 117–126.
- KOSAKOWSKI P., BURZEWSKI W. & KOTARBA M.J. 2003 (w druku) — Potencjał naftowy utworów dolomitu głównego platformy węglanowej Kamienia Pomorskiego. Cz. 2 — Analiza ropotwórczości. *Prz. Geol.*, 51.
- KOTARBA M. & SZAFRAN S. 1985 — Zastosowanie analizatorów Rock-Eval i Oil Show w poszukiwaniach naftowych. *Nafta*, 41: 81–88.
- KOTARBA M.J., KOSAKOWSKI P., KOWALSKI A. & WIĘCŁAW D. 1998 — Wstępna charakterystyka geochemiczna substancji organicznej i potencjał węglowodorowy w utworach dolomitu głównego Niżu Polskiego. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 165: 227–234.
- KOTARBA M., KOWALSKI A. & WIĘCŁAW D. 1994 — Nowa metoda obliczeń wskaźnika CPI i wykorzystanie badań dystrybucji n-alkanów i izoprenoidów w prospekcji naftowej. *Mat. Symp. Badania geochemiczne i petrofizyczne w poszukiwaniach ropy naftowej i gazu ziemnego*. Balice k. Krakowa, 27–28.06.1994. Wyd. IGNiG Kraków: 82–92.
- OBERMAJER M., FOWLER M.G. & SNOWDON L.R. 1999 — Depositional environment and oil generation in Ordovician source rocks from southwestern Ontario, Canada: organic geochemical and petrological approach. *AAPG Bull.*, 83: 1426–1453.
- PETERS K.E. & CASSA M.R. 1994 — Applied source rock geochemistry. [In:] L.B. Magoon & W.G. Dow (eds.), *The petroleum system — from source to trap*. AAPG Memoir, 60: 93–120.
- SOFER Z. 1984 — Stable carbon isotope compositions of crude oils: application to source depositional environments and petroleum alteration. *AAPG Bull.*, 68: 31–49.
- WAGNER R. 1994 — Stratygrafia osadów i rozwój basenu cechsztyńskiego na Niżu Polskim. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 146.
- WAGNER R. 2000 — Charakterystyka facjalna i paleogeograficzna utworów dolomitu głównego. [In:] Kotarba M. (ed.), *Potencjał i bilans generowania utworów dolomitu głównego basenu permjskiego Polski – Blok II*. Arch. BG Geonafte, Warszawa.
- WILCZEK T. & MERTA H. 1992 — Wstępne wyniki badań pirolitycznych metodą Rock-Eval. *Nafta*, 48: 3–10.