

FASETOWANE ZIARNA GRANATÓW Z PSTREGO PIASKOWCA MONOKLINY PRZEDSUDECKIEJ OKOLICY GŁOGOWA (SW POLSKA)

Faceted garnets from the sandstones of the Buntsandstein on the Fore-Sudetic Monocline (Głogów area, SW Poland)

Marek MUSZYŃSKI, Adam GAWEŁ & Andrzej SKOWROŃSKI

*Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska,
Zakład Mineralogii, Petrografii i Geochemii; al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;
e-mail: mmuszyn@agh.edu.pl, agawel@uci.agh.edu.pl, askowr@geolog.geol.agh.edu.pl*

Treść: Przeprowadzono badania (mikroskopia optyczna, SEM/EDS, XRD, IR) tzw. fasetowanych ziarn granatów, napotkanych we frakcjach minerałów ciężkich wydzielonych z piaskowców pstrego piaskowca monokliny przedsudeckiej. Stwierdzono, że reprezentują one człony szeregu almandyn – pirop o przewadze cząsteczki almandynowej i zawierają na ogół podrzędną domieszkę cząsteczki grossularowej, natomiast pozbawione są spessartynowej. Obszarem alimentacyjnym dla tych minerałów były zapewne Sudety, gdzie w obecnie odsłoniętych skałach metamorficznych facji eklogitowej i granulitowej stwierdzono granaty o zbliżonym chemizmie. Przyjęto, zgodnie z przeważającymi aktualnie poglądami, że „fasetowane” ziarna granatów (współwystępujące z obtoczonymi ziarnami cyrkonu, turmalinu, rutyłu, apatyty, a nawet blaszkami mik), ukształtowały się w wyniku diagenetycznego wylugowania przez roztwory porowe. Proces ten przebiegał przypuszczalnie powoli, w alkalicznym lub ewentualnie obojętnym środowisku (świadectwem obecność niewylugowanego apatyty oraz dominacja smektytów w spoiwie piaskowców), w warunkach bliskich chemicznej równowagi między granatami a roztworami porowymi.

Słowa kluczowe: fasetowane granaty, minerały ciężkie, pstry piaskowiec, monoklina przedsudecka, SW Polska

Abstract: The authors studied (optical microscopy, SEM/EDS, XRD, IR) the so-called faceted garnets found in heavy mineral fractions, separated out from the sandstones of the Buntsandstein on the Fore-Sudetic Monocline. The garnets represent almandine members of the almandine-pyrope series (almandine prevails over pyrope) and usually contain a subordinate admixture of the grossular member, whereas are devoid of the spessartine member. An alimentation area of these minerals was probably situated in the Sudetes, where garnets with a similar composition occur in some exposed rocks of the eclogite and granulite facies. The authors agree with currently prevailing opinions that the faceted garnets (co-occurring with rounded grains of zircon, tourmaline, rutile, apatite, and even mica flakes) were formed due to their selective diagenetic leaching by porous solutions. The process must have proceeded slowly in an alkaline or, possibly, neutral environment (it is proved by the presence of unleached apatite and domination of smectites in the bounding mass of the sandstones), under conditions approaching chemical equilibrium between garnets and the porous solutions.

Key words: faceted garnets, heavy minerals, Buntsandstein, Fore-Sudetic Monocline, SW Poland

WSTĘP

W latach 1977–1978 przeprowadzono petrograficzne badania skał dolnego i środkowego pstręgo piaskowca (Heflik *et al.* 1980), osiągniętych odwiertami na monoklinie przedsudeckiej w okolicy Głogowa (Fig. 1). Wykonano m.in. analizy frakcji minerałów ciężkich, wydzielonych z kilku reprezentatywnych próbek piaskowców. We frakcjach tych, wśród obtoczonych ziarn cyrkonu, turmalinu, apatyty, rutyłu, a nawet blaszek muskowitu i biotyty (+/- pobiotytoowego chlorytu), kontrastowo wyodrębniają się nieobtoczone ziarna granatów i nielicznie występującego anatazu. Dodatkowo ziarna granatów niemal z reguły są reprezentowane przez tzw. ziarna fasetowane – specyficzny typ morfologiczny, o długo dyskusyjnej genezie (Gurżij & Tkaczuk 1959, Zaporozceva 1960, Rahmani 1973, Simpson 1976, Mader 1981, Afanasev 1985, Borg 1986, Morton *et al.* 1989, Salvino & Velbel 1989, London 2006 oraz inne pozycje w tych pracach cytowane). Wobec jedynie nielicznych wzmianek o występowaniu na terenie Polski analogicznego typu ziarn granatów we frakcjach minerałów ciężkich (Zawidzka 2003, Biernacka 2004, Salata 2004, Oszczytko & Salata 2005, Grzebyk & Leszczyński 2006), zdecydowano się przeprowadzić ich bardziej szczegółową analizę fazową i chemiczną.

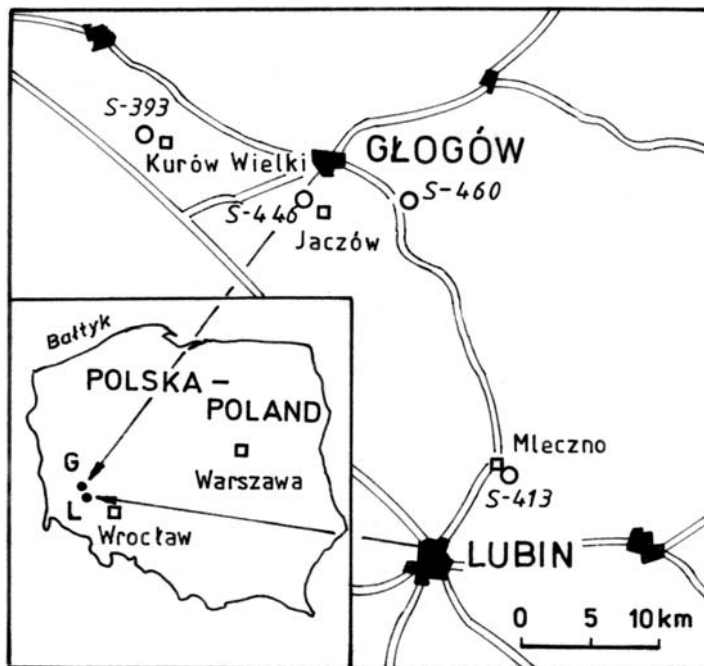


Fig. 1. Szkic rozmieszczenia odwiertów w okolicach Głogowa i Lubina na monoklinie przedsudeckiej, z których pochodzą badane próbki skał pstręgo piaskowca

Fig. 1. Location of the boreholes on the Fore-Sudetic Monocline near Głogów and Lubin, in which Buntsandstein sandstones were sampled

METODYKA BADAŃ

Fracje minerałów ciężkich wydzielano w bromoformie z frakcji ziarnowych 0.5–0.03 mm. Masa rozdzielanych próbek wynosiła 20 g. Procentowe udziały minerałów ciężkich ustalano przez zliczanie po 300 ziarn w mikroskopowych preparatach proszkowych wykonanych przy użyciu balsamu kanadyjskiego. W badaniach laboratoryjnych granatów stosowano, oprócz mikroskopii optycznej, dyfraktometrię rentgenowską – XRD (analiza techniką filmową aparatem VEM-60 produkcji niemieckiej, promieniowanie CoK_α monochromatyzowane filtrem Fe, preparat w formie pręcika o $\varnothing = 0.3$ mm, kamera standardowa $2R = 114.8$ mm, wprowadzono poprawki na skurcz filmu i absorpcję promieniowania w preparacie), spektroskopię absorpcyjną w podczerwieni – IR (spektrometr BIO-RAD FTIR 165, próbki w formie pastylek z KBr) oraz elektronową mikroskopię skaningową połączoną z analizą chemiczną w mikroobszarze – SEM/EDS (mikroskopy: HITACHI S-4700 ze spektrometrem NORAN Vantage oraz FEI Quanta 200 FEG ze spektrometrem EDAX i detektorem elektronów wstecznie rozproszonych – BS). Próbki analizowane SEM/EDS, zarówno zwykłe preparaty proszkowe, jak i polerowane płytki cienkie, napyłano uprzednio warstwą węgla. Parametry analiz były następujące: napięcie przyspieszające 15 kV, czas zliczeń 100 s. Zawartość kationów obliczano, korzystając z danych zawartych w systemie operacyjnym aparatu zainstalowanych przez producenta (tzw. metoda bezwzorcowa). Analizy XRD i IR prowadzono na frakcjach granatów wyseparowanych ręcznie w polu widzenia lupy binokularnej.

WYNIKI BADAŃ

Granaty – obiekt niniejszych badań – występują najliczniej w piaskowcach (głównie waki subarkozowe) środkowego pstrego piaskowca. Ich ilość waha się od kilkunastu do ponad 30% ilościowych w poszczególnych frakcjach minerałów ciężkich (Tab. 1). Minerale te są przezroczyste, o szklistym połysku, bezbarwne, rzadziej różowawe lub, wyjątkowo, różowofioletowe. Ich ziarna niemal z reguły nie zawierają wrostków; nieliczne są reprezentowane przez cyrkon i rutil. Nie stwierdzono obecności granatów w formie wrostków w składnikach szkieletu piaskowców pstrego piaskowca, tj. w ziarnach kwarcu i podrzędnie występujących skaleni oraz w nielicznych blaszkach mik. Wielkość ziarn granatów dochodzi do około 0.6 mm i jest porównywalna z rozmiarami pozostałych składników frakcji ciężkich.

Ziarna granatów (Fig. 2–10), a także podrzędnego anatazu (Fig. 11), są niemal z reguły nieobtoczone, w przeciwieństwie do ziarn pozostałych minerałów ciężkich (Fig. 4) – w tym nawet blaszkowych. Obserwacje granatów, zwłaszcza przy użyciu mikroskopu skaningowego ujawniły, że niemal w całości są one reprezentowane przez tzw. ziarna fasetowane (*loco cit.*): wielościennie, różnokształtne, często lekko spłaszczone (Fig. 2–4, 6–10). Przypominają one skomplikowane, agregatowe zrosty subhedralnych kryształów, niewykazujących mechanicznej obróbki. Rozpoznawalne są w nich zniekształcone ściany dwunastościanu (por. Rahmani 1973, Afanasev 1985, London 2006) oraz rzadziej – postaci złożonej z dwunastościanu i sześciastianu (Fig. 9). Ścianki (fasetki) ograniczające ziarna granatów są

gładkie, rzadziej ze schodkowymi nierównościami (Fig. 6, 9) i/lub mikroporami (Fig. 7, 10). Te ostatnie są puste albo w różnym stopniu wypełnione przez minerały węglanowe i/lub substancję ilastą.

Tabela (Table) 1

Skład frakcji minerałów ciężkich z piaskowców pstrego piaskowca
monokliny przedsudeckiej okolic Głogowa

*Composition of heavy mineral fraction from the sandstones of the Buntsandstein
on the Fore-Sudetic Monocline*

Odwierc <i>Bore-hole</i>	Głębokość poboru próbki <i>Depth of sampling [m]</i>	Udział minerału [%] <i>Content of mineral [%]</i>								Udział frakcji*** [% wag.] <i>Content of fraction*** [wt. %]</i>
		granat <i>garnet</i>	cyrkon <i>zircon</i>	turmalin <i>tourmaline</i>	apatyt <i>apatite</i>	rutyl <i>rutile</i>	anataz <i>anatase</i>	minerały blaszkowe* <i>flake minerals*</i>	minerały nieprze- roczy- ste** <i>opaque**</i>	
		piaskowce środkowego pstrego piaskowca <i>sandstones of Middle Buntsandstein</i>								
S-393	388.8	12	15	45	8	–	1	9 ^{B>>M}	10	0.2
	395.5	31	17	23	3	–	6	3 ^{B>>M}	17	0.1
	478.8	14	24	19	5	–	1	4 ^{B>>M}	33	0.05
S-413	459.5	21	5	25	4	2	3	9 ^{M>>B>>Ch}	31	0.07
		piaskowce dolnego pstrego piaskowca <i>sandstones of Lower Buntsandstein</i>								
S-393	725.6	2	17	1	20	11	–	23 ^{M>>B>>Ch}	26	0.07
	764.6	1	27	< 1	8	11	–	32 ^{M>>B>>Ch}	21	0.2

* B – biotyt, M – muskowitz, Ch – chloryt pobiotytowy
B – biotite, M – muscovite, Ch – chlorite after biotite

** różne asocjacje z udziałem leukoksenu, goethytu, hematytu i pirytu
various associations containing leucoxene, goethite, hematite and pyrite

*** wraz z na ogół licznymi autigenicznymi minerałami węglanowymi (dolomit +/- syderyt), które pominięto przy analizie ilościowej
including usually numerous, authigenic carbonate minerals (dolomite +/- siderite) that were omitted in qualitative mineral counting

Sporadycznie występują w analizowanych frakcjach ziarna granatów innego typu, niemające wielościennego pokroju. Są one słabo obtoczone lub ostrokrawędziste, o nieregularnym kształcie, z muszlowymi przełamami, a więc wykazują cechy charakterystyczne zwykle dla detrytycznych granatów frakcji minerałów ciężkich.

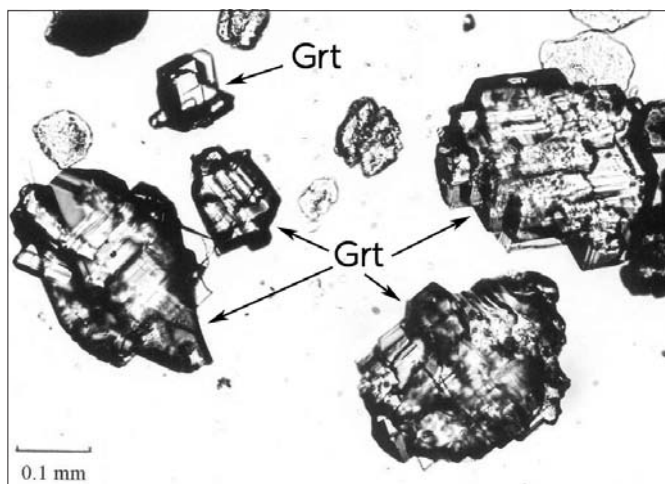


Fig. 2. Różnokształtne, nieobtoczone, fasetowane ziarna granatów we frakcji minerałów ciężkich z pstrego piaskowca monokliny przedsudeckiej. Odwiert S-393, głębokość 395.5 m. Mikroskop optyczny, jeden polaryzator

Fig. 2. Angular, faceted garnets with various shapes in the fraction of heavy minerals from the Buntsandstein on the Fore-Sudetic Monocline. Borehole S-393, depth 395.5 m. Optical microscope, one polarizer

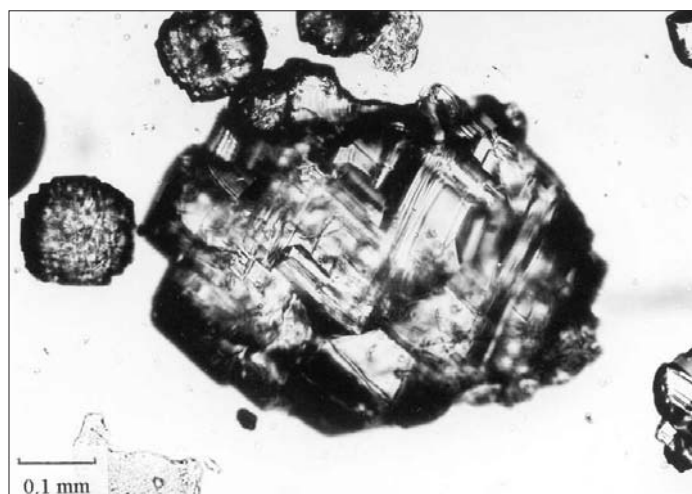


Fig. 3. Duże, nieobtoczone, fasetowane ziarno granatu we frakcji minerałów ciężkich z pstrego piaskowca monokliny przedsudeckiej (na lewo i powyżej niego – mikrokonkrecje autigenicznego syderytu). Odwiert S-393, głębokość 388.8 m. Mikroskop optyczny, jeden polaryzator

Fig. 3. A large, angular, faceted garnet in the fraction of heavy minerals from the Buntsandstein on the Fore-Sudetic Monocline (to the left and above of the garnet microconcretions of authigenic siderite can be seen). Borehole S-393, depth 388.8 m. Optical microscope, one polarizer

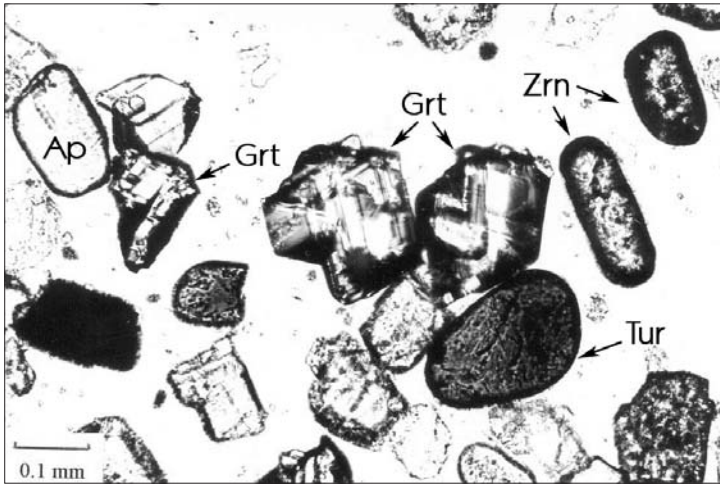


Fig. 4. Nieobtoczone, fasetowane ziarna granatów (Grt) obok obtoczonych ziarn cyrkonu (Zrn), turmalinu (Tur) i apatyty (Ap) we frakcji minerałów ciężkich z pstręgo piaskowca monokliny przedsudeckiej. Odwiert S-393, głębokość 395.5 m. Mikroskop optyczny, jeden polaryzator

Fig. 4. Angular, faceted garnets (Grt) accompanied by rounded grains of zircon (Zrn), tourmaline (Tur) and apatite (Ap) in the fraction of heavy minerals from the Buntsandstein on the Fore-Sudetic Monocline. Borehole S-393, depth 395.5 m. Optical microscope, one polarizer

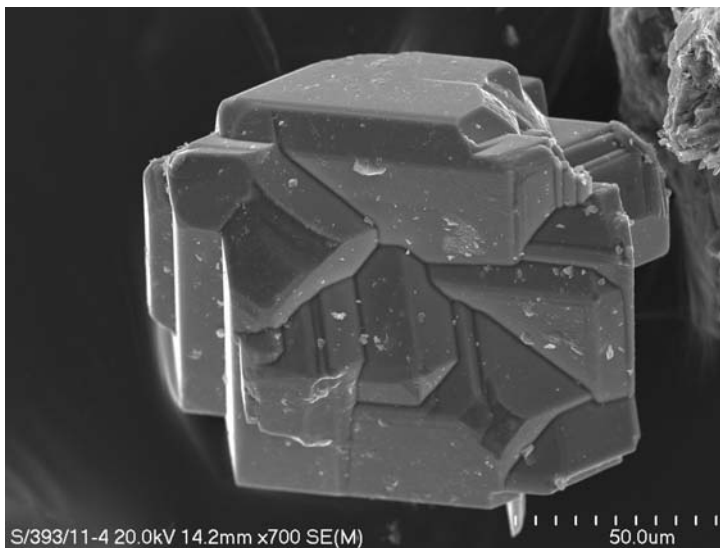


Fig. 5. Fasetowane, nieobtoczone ziarno granatu z frakcji minerałów ciężkich z pstręgo piaskowca monokliny przedsudeckiej. Odwiert S-393, głębokość 395.5 m. SEM

Fig. 5. A faceted, angular garnet grain in the fraction of heavy minerals from the Buntsandstein on the Fore-Sudetic Monocline. Borehole S-393, depth 395.5 m. SEM

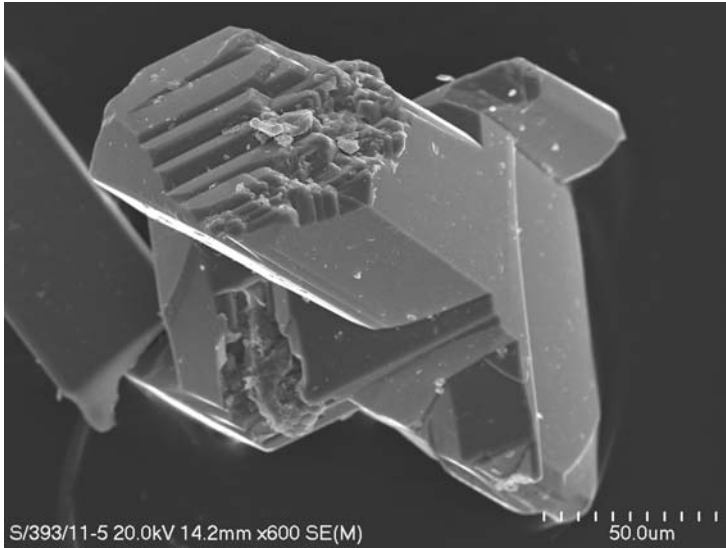


Fig. 6. Detto

Fig. 6. Detto

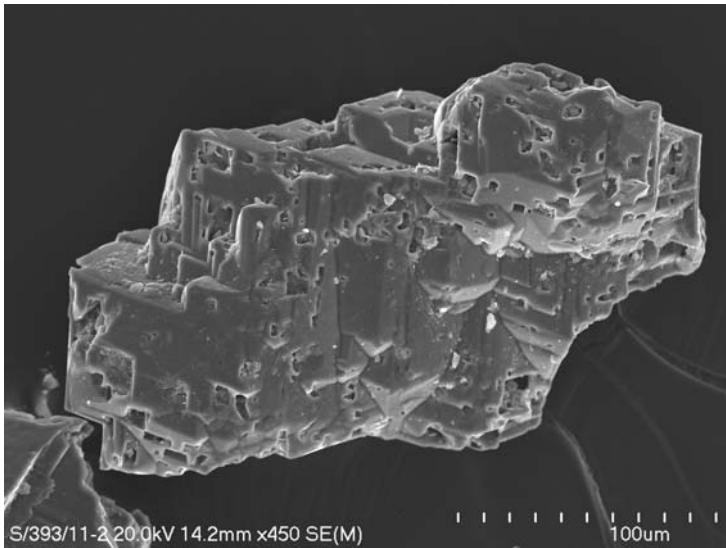


Fig. 7. Fasetowane, nieobtoczone ziarno granatu z licznymi mikrokawernami wytrawień z frakcji minerałów ciężkich z pstrego piaskowca monokliny przedsudeckiej. Odwiert S-393, głębokość 395.5 m.
SEM

Fig. 7. A faceted, angular garnet grain with numerous etch microcaverns from the fraction of heavy minerals from the Buntsandstein on the Fore-Sudetic Monocline. Borehole S-393, depth 395.5 m.
SEM

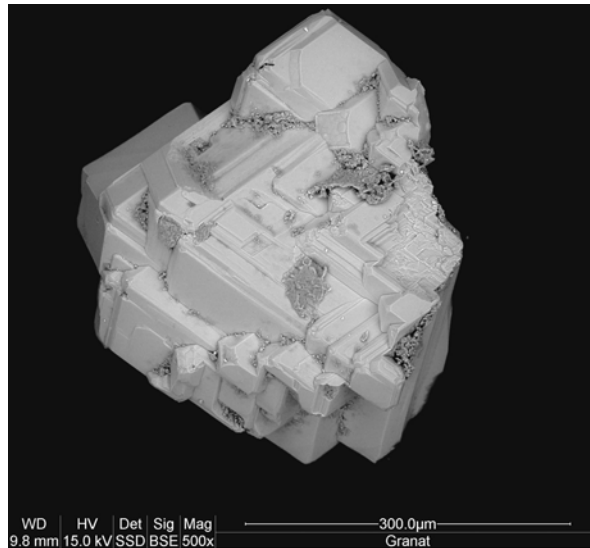


Fig. 8. Fasetowane, nieobtoczone ziarno granatu z frakcji minerałów ciężkich z pstręgo piaskowca monokliny przedsudeckiej. Odwiert S-393, głębokość 395.5 m. SEM

Fig. 8. A faceted, angular garnet grain in the fraction of heavy minerals from the Buntsandstein on the Fore-Sudetic Monocline. Borehole S-393, depth 395.5 m. SEM

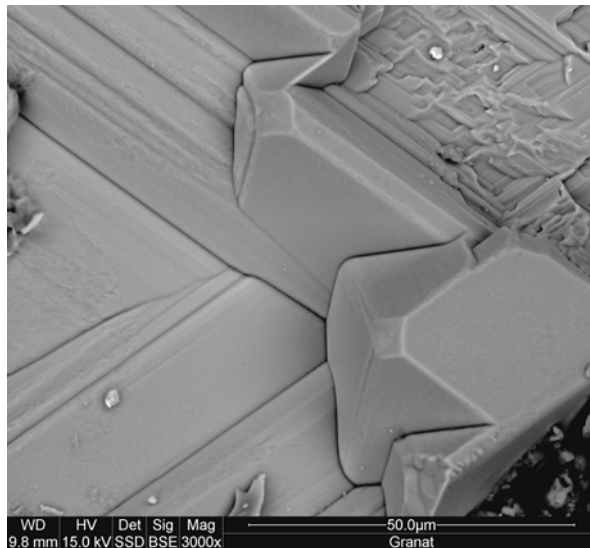


Fig. 9. Powiększony fragment ziarna granatu z figury 8, z wyraźnie widocznymi zarysami subhedralnych kryształów (zniekształcone postacie złożone z dwunastościanu i sześcianu)

Fig. 9. A blow-up of the garnet grain from figure 8 with distinctly seen outlines of subhedral crystals (distorted forms representing combinations of dodecahedron and cube)

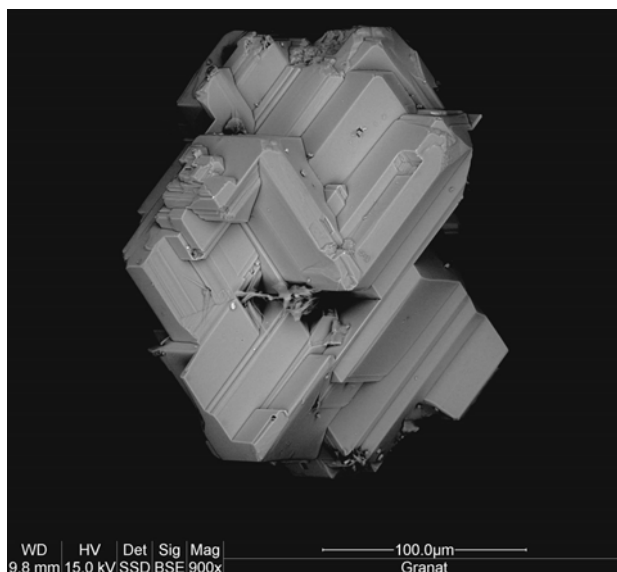


Fig. 10. Fasetowane, nieobtoczone ziarno granatu z frakcji minerałów ciężkich z pstrego piaskowca monokliny przedsudeckiej. Odwiert S-393, głębokość 395.5 m. SEM

Fig. 10. A faceted, angular garnet grain from the fraction of heavy minerals from the Buntsandstein on the Fore-Sudetic monocline. Borehole S-393, depth 395.5 m. SEM



Fig. 11. Subhedralny, tabliczkowy kryształ anatazu we frakcji minerałów ciężkich z pstrego piaskowca monokliny przedsudeckiej. Odwiert S-393, głębokość 395.5 m. Mikroskop optyczny, jeden polaryzator

Fig. 11. A subhedral, tabular anatase grain in the fraction of heavy minerals from the Buntsandstein on the Fore-Sudetic Monocline. Borehole S-393, depth 395.5 m. Optical microscope, one polarizer

Dane rentgenograficzne badanych granatów najlepiej odpowiadają almandynowi lub fazie o przewodzie cząsteczki almandynowej (Tab. 2). Wskazuje na to zwłaszcza właściwy dla almandynu parametr $a = 11.53 \text{ \AA}$ komórki elementarnej, który jest mniejszy w przypadku piropu, a większy u grossularu i spessartynu (por. Borkowska & Smulikowski 1973, Koziol 1990, Putnis 1993, Chmielová *et al.* 1997). Tylko niektóre słabe refleksy (1.7760, 1.6936, 1.4631, 1.3396, 1.2415 \AA) można przypisać domieszcze w analizowanej frakcji piropowej lub granatów o przewodzie cząsteczki piropowej.

Tabela (Table) 2

Dane rentgenograficzne granatów wyseparowanych z piaskowca środkowego pstrego piaskowca monokliny przedsudeckiej

X-ray data of garnets separated out from the sandstones of the Middle Buntsandstein on the Fore-Sudetic Monocline

Frakcja granatów (odwiert S-393, głębokość 395.5 m) <i>Garnet-bearing fraction (borehole S-393, depth 395.5 m)</i>		Almandyn (syntetyczny) <i>Almandine (synthetic) ICDD 41-1423</i>		Almandyn <i>Almandine ICDD 9-427</i>		<i>hkl</i>	Pirop (syntetyczny) <i>Pyrope (synthetic) ICDD 15-742</i>		<i>hkl</i>
<i>d</i> (Å)	<i>I</i> *	<i>d</i> (Å)	<i>I</i>	<i>d</i> (Å)	<i>I</i>		<i>d</i> (Å)	<i>I</i>	
–	–	4.67	20	–	–	2 1 1	4.677	8	2 1 1
–	–	–	–	4.04	30	2 2 0	4.053	4	2 2 0
–	–	3.47	5	–	–	3 1 1	–	–	–
3.331	3	3.33	5	–	–	2 2 2	–	–	–
3.021	1	3.07	15	–	–	3 2 1	3.063	8	3 2 1
2.880	8	2.87	80	2.873	40	4 0 0	2.865	60	4 0 0
–	–	2.78	<5	–	–	4 1 0	–	–	–
2.581	10	2.56	100	2.569	100	4 2 0	2.562	100	4 2 0
2.459	4	2.44	40	2.447	5	3 3 2	2.443	40	3 3 2
2.361	5	2.34	50	2.348	20	4 2 2	2.339	20	4 2 2
2.261	5	2.25	40	2.257	20	4 3 1	2.247	25	4 3 1
–	–	2.21	40	–	–	5 1 1	–	–	–
2.102	5	2.09	50	2.102	20	5 2 1	2.092	14	5 2 1
2.036	2	2.02	25	2.043	10	4 4 0	2.0256	8	4 4 0
1.9808	0.5	1.936	5	–	–	5 3 1	–	–	–
1.9129	0.5	1.915	15	–	–	6 0 0	–	–	–
1.8690	6	1.860	50	1.866	30	6 1 1	1.8588	16	6 1 1

Tabela (Table) 2 cd.

1.8214	1	1.815	5	–	–	6 2 0	1.8120	8	6 2 0
1.7760	2r	–	–	–	–	–	1.7678	2	5 4 1
1.7329	0.5	1.720	< 5	–	–	6 2 2	–	–	–
1.6936	0.5	–	–	–	–	–	1.6894	2	6 3 1
1.6632	5	1.656	40	1.660	30	4 4 4	1.6540	12	4 4 4
1.6314	0.5	1.622	10	–	–	5 4 3	1.6205	2	5 4 3
1.5990	8	1.590	70	1.599	40	6 4 0	1.5890	30	6 4 0
1.5686	1	1.561	15	–	–	7 2 1	1.5594	2	7 2 1
1.5412	9	1.533	80	1.540	50	6 4 2	1.5312	50	6 4 2
1.4631	0.5	–	–	–	–	–	1.4551	2	6 5 1
1.4420	4	1.435	30	1.441	20	8 0 0	1.4320	10	8 0 0
1.4190	1	1.417	10	–	–	8 1 0, 8 1 1	1.4102	4	7 4 1
–	–	1.396	5	–	–	7 3 3, 8 2 0	1.3897	4	8 2 0
1.3782	1	1.361	15	–	–	6 5 3	1.3696	4	6 5 3
–	–	–	–	–	–	–	1.3506	2	8 2 2
1.3396	0.5	–	–	–	–	–	1.3323	2	8 3 1
–	–	–	–	–	–	–	1.2976	4	7 5 2
1.2881	4	1.281	30	1.287	20	8 4 0	1.2811	10	8 4 0
1.2576	6	1.253	40	1.257	30	8 4 2	1.2503	10	8 4 2
1.2415	1	–	–	–	–	9 2 1	1.2355	6	9 2 1
1.2279	3	1.223	25	1.228	10	6 6 4	1.2216	6	6 6 4
1.2096	2	1.212	5	–	–	9 2 2, 8 5 1	1.2079	4	8 5 1
1.1641	3	1.159	15	1.167	5	9 4 1	1.1693	< 1	8 4 4
–	–	–	–	–	–	–	1.1575	6	9 4 1
1.1311	2	1.126	5	–	–	8 6 2	1.1343	2	10 1 1
$a = 11.53 \text{ \AA}$		$a = 11.470 \text{ \AA}$		$a = 11.53 \text{ \AA}$			$a = 11.455 \text{ \AA}$		

I^* – intensywność refleksów oceniono wizualnie

I^* – visual intensity of reflections

Również widmo absorpcyjne w podczerwieni badanych granatów (Fig. 12, Tab. 3), w zestawieniu z danymi Moenkego (1962) i Farmera (1974), generalnie odpowiada almandynowi. Wyraźnie jednak niższa intensywność pasma 641 cm^{-1} w porównaniu ze wzorcowymi krzywymi dla almandynu sugeruje ponadto udział w badanych granatach znaczącej domieszki cząsteczki piropowej. Pasma to bowiem w przypadku piropu nie występuje. Także zbliżona intensywność pasm 457 i 474 cm^{-1} wydaje się potwierdzać powyższą obserwację. Dla czystego almandynu charakterystyczna jest bowiem zdecydowanie wyższa intensywność drugiego z powyższych pasm.

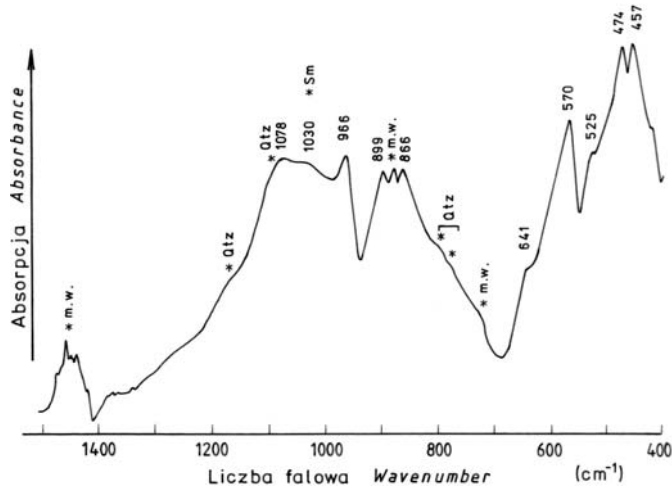


Fig. 12. Krzywa absorpcyjna w podczerwieni frakcji granatów wyseparowanej z piaskowca środkowego pstrego piaskowca monokliny przedsudeckiej. Odwiert S-393, głębokość 395.5 m. Objasnienia symboli faz stanowiących domieszki: m.w. – minerały węglanowe, Qtz – kwarc, Sm – smektyt

Fig. 12. Infrared absorption spectrum of a garnet-bearing fraction separated out from the Buntsandstein on the Fore-Sudetic Monocline. Borehole S-393, depth 395.5 m. Symbols of minerals – admixtures: m.w. – carbonate minerals, Qtz – quartz, Sm – smectite

Tabela (Table) 3

Liczby falowe pasm absorpcyjnych w podczerwieni granatów wyseparowanych z piaskowca środkowego pstrego piaskowca monokliny przedsudeckiej w zestawieniu z danymi porównawczymi [cm^{-1}]

Wave numbers of infrared absorption bands of garnets separated out from the sandstones of the Middle Buntsandstein on the Fore-Sudetic Monocline compared with the reference data [cm^{-1}]

Frakcja granatów (odwiert S-393, głębokość 395.5 m) <i>Garnet-bearing fraction (borehole S-393, depth 395.5 m)</i>	Dane porównawcze – Moenke (1962) <i>Reference data – Moenke (1962)</i>		
	almandyn <i>almandine</i>	pirop <i>pyrope</i>	grossular <i>grossular</i>
457	455	460	450
474	480	482	470
525	527	530	540
570	570	575	–
641	638	–	618
–	–	820	840
866	872	872	860
899	902	900	915
966	970	970	960
?	1000	1000	–
1078	1090	1080	1080

? – pełna koincydencja z pasmem pochodzącym od domieszki smektytu

? – full coincidence with the band of a smectite admixture

Analizy chemiczne metodą SEM/EDS pojedynczych ziarn granatów (Tab. 4) potwierdziły wyniki badań fazowych. Wykazały one, że minerały te reprezentowane są przez człon szeregu almandyn – pirop, z reguły o przewadze cząsteczki almandynowej, lecz jednocześnie zasobne w człon piropowy. Analizy chemiczne ujawniły dodatkowo w badanych granatach stałą domieszkę cząsteczki grossularowej (2–15%). Charakterystyczny jest ponadto brak manganu (a więc ogniwa spessartynowego) w ilości wykrywalnej stosowaną metodą analityczną. W analizowanych ziarnach nie stwierdzono niejednorodności w rozkładzie podstawowych pierwiastków: Si, Al, Fe, Mg i Ca (Fig. 13).

Tabela (Table) 4

Wyniki analiz chemicznych granatów z piaskowców środkowego pstrego piaskowca monokliny przedsudeckiej

Results of chemical analyses of garnets from sandstones of the Middle Buntsandstein on the Fore-Sudetic Monocline

Składnik <i>Component</i>	Numery analiz <i>Analysis number</i>				
	G 1	G 2	G 3	G 4	G 5
	udział [% wag.] <i>content [wt. %]</i>				
SiO ₂	39.27	39.50	39.14	39.71	39.56
Al ₂ O ₃	22.21	22.53	22.13	22.29	22.38
FeO*	26.93	24.15	27.98	25.03	22.92
MgO	10.22	9.65	9.97	12.33	9.46
CaO	1.37	4.17	0.78	0.64	5.68
Σ	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	ilość kationów przeliczona na 12 jonów tlenu <i>content of cations recalculated into 12 oxygen anions</i>				
Si	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Al	2.00	2.02	2.00	1.99	2.00
Fe*	1.72	1.54	1.79	1.58	1.46
Mg	1.16	1.09	1.14	1.39	1.07
Ca	0.11	0.34	0.06	0.05	0.46
Σ	7.99	7.99	7.99	8.01	7.99
	udział teoretycznych skrajnych członów w analizowanych granatach [% mol.] <i>content of theoretical end-members in the garnets analysed [mol. %]</i>				
Almandyn <i>Almandine</i>	57.5	51.9	59.9	52.3	48.8
Pirop <i>Pyrope</i>	38.8	36.7	38.1	46.0	35.8
Grossular <i>Grossular</i>	3.7	11.4	2.0	1.7	15.4

* sumaryczna zawartość Fe jako Fe²⁺
total Fe expressed as Fe²⁺

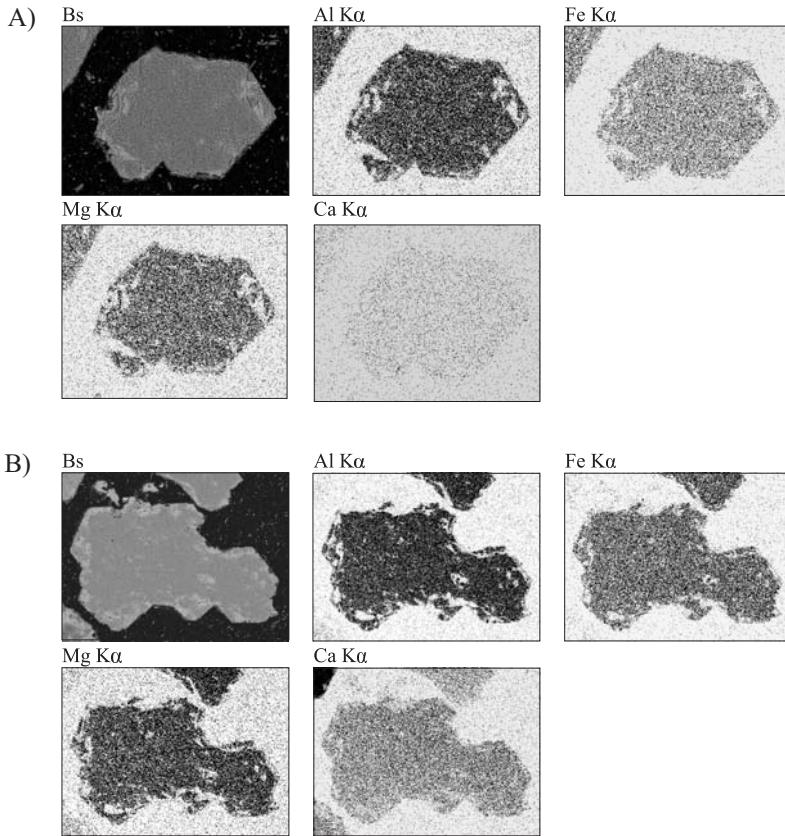


Fig. 13. Rozkłady wybranych pierwiastków w dwu (A i B) fasetowanych ziarnach granatów z frakcji minerałów ciężkich z pstrego piaskowca monokliny przedsudeckiej. Odwiert S-393, głębokość 395.5 m

Fig. 13. Distribution of selected elements in two (A i B) faceted garnets from the fraction of heavy minerals from the Buntsandstein on the Fore-Sudetic Monocline. Borehole S-393, depth 395.5 m

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

1. Z fazowych i chemicznych badań granatów z pstrego piaskowca okolic Głogowa wynika, że reprezentują one człony szeregu almandyn – pirop, z reguły o przewadze cząsteczki almandynowej. Ponadto minerały te zawierają stałą, lecz na ogół podrzędną domieszkę cząsteczki grossularowej. Tego typu granaty, tj. będące kryształami mieszanymi z przewagą cząsteczki almandynowej i jednocześnie ze znacznymi udziałami – piropowej, a ponadto ewentualnie tylko z niewielkimi ilościami innych ogniów, zgodnie z danymi m.in. Wrighta (1938), Trögera (1959), Deera *et al.* (1964), Bakun-Czubarow (1968), Borkowskiej & Smulikowskiego (1973), Sabeena *et al.* (2002), występują głównie w skałach metamorfizmu regionalnego facji eklogitowej, a ponadto rzadziej – granulitowej i amfibolitowej. Były też notowane w charnockitach i granitoidach (Tröger 1959, Sobolev 1964).

2. Współwystępowanie obtoczonych ziarn cyrkonu, turmalinu, rutylu, apatyty, a nawet mik, z nieobtoczonymi, tzw. fasetowanymi ziarnami granatów można – zgodnie z poglądami udokumentowanymi licznymi już pracami (Zaporożceva 1960, Rahmani 1973, Afanasev 1985, Borg 1986, Morton *et al.* 1989, Morton & Hallsworth 1999, Salvino & Velbel 1989, Kale & Soman 2003 oraz inne pozycje w tych pracach cytowane) – tłumaczyć ukształtowaniem się tych ostatnich (pierwotnie zapewne również obtoczonych) w procesie trawienia przez roztwory porowe w trakcie diagenety. Powyższemu wydaje się nie przeczyć ostrokrawędzistość lub co najwyżej słabe obtoczenie tabliczkowych kryształów niewątpliwie detrytycznego anatazu; należy on bowiem wraz z pozostałymi polimorfami TiO_2 do generalnie bardzo trwałych minerałów ciężkich (m.in. Pettijohn 1957, Morton & Hallsworth 1999). Obecność apatyty i brak przejawów ługowania jego ziarn przemawia za alkalicznym (ewentualnie obojętnym) charakterem roztworów porowych. W kwaśnym środowisku minerał ten jest bowiem wybitnie nietrwały (*vide* Rahmani 1973, Morton & Hallsworth 1999). Również znaczny udział smektytów w spoiwie piaskowców środkowego pstrego piaskowca (Heflik *et al.* 1980), z których pochodzą badane frakcje minerałów ciężkich, potwierdza ten wniosek. Minerale te bowiem są najbardziej trwałe w środowisku o $pH \cong 8$ (Stoch 1974). Obecność autigenicznego syderytu we frakcjach minerałów ciężkich także wskazuje na powyższe warunki (Krauskopf 1967).

Ługowanie, które ukształtowało ziarna granatów ograniczonych gładkimi ściankami (dominującymi w badanym materiale), zgodnie z poglądami Londona (2006) musiało przebiegać powoli, w warunkach bliskich równowagi między tymi minerałami a roztworami porowymi. Jedynie lokalnie, gdy warunki wyraźnie odbiegały od powyższych, ługowanie musiało być szybsze i intensywniejsze, dając liczne, drobne zagłębienia na powierzchni niektórych spośród badanych granatów.

3. Źródła materiału klastycznego dostarczanego podczas środkowego pstrego piaskowca na obszar obecnej monokliny przedsudeckiej należy, zdaniem Sokołowskiego (1967), upatrywać na terenie ówczesnych Sudetów. Do analogicznego wniosku upoważnia również analiza map paleogeograficznej i paleotektonicznej środkowego pstrego piaskowca, prezentowanych przez Szyperko-Teller (1997). Można zatem także przyjąć, że ze skał sudeckich pochodzą epiklasty badanych piaskowców, w tym oczywiście i granaty oraz pozostałe minerały ciężkie. Pośrednio może przemawiać za tym fakt, że także obecnie odsłonięte skały sudeckie: eklogity masywu Śnieżnika (Smulikowski 1960, 1965, 1967, Bakun-Czubarow 1968, Bakun-Czubarow 1970: *vide* Lis & Sylwestrzak 1986) oraz granulity z okolicy Jeziora Bystrzyckiego w Górach Sowich (Budzyń *et al.* 2004), zawierają granaty o chemizmie zbliżonym do opisanych w niniejszej pracy. Powyższe jest zbieżne z wnioskami Borga (1986), który także ze skałami o wysokim stopniu metamorfizmu regionalnego, cyanitowymi granulitami Masywu Czeskiego, wiąże granaty z górnortriasowych piaskowców okolic Norymbergii, również fasetowane i o składzie chemicznym bliskim granatom opisanym w niniejszej pracy.

Praca została wykonana w ramach działalności statutowej Zakładu Mineralogii, Petrografii i Geochemii, finansowanej przez KBN (umowa nr 11.11.140.158).

Wyrażamy podziękowania Pani mgr Annie Łatkiewicz (Laboratorium Mikroskopii Skaningowej i Mikroanalizy, Instytut Nauk Geologicznych Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie) za wykonanie części analiz SEM/EDS oraz Kolegom: dr. inż. Adamowi Pieczce za pomoc w interpretacji wyników analiz chemicznych i mgr. Stanisławowi Olkiewiczowi za wykonanie analizy spektroskopowej w podczerwieni.

LITERATURA

- Afanasev V.P., 1985. Genezis piramidalno-čerepitčatogo relefa rastvorenija na granatah piro-p-almaninowego rjada. *Zapiski Vsesojuznogo Minerlogičeskogo Obsčestva*, 114, 1, 73–80.
- Biernacka J., 2004. Heavy mineral suites in Oligocene-Miocene sediments (Fore-Sudetic Monocline, SW Poland): Provenance signal versus weathering alteration. *Geologia Sudetica*, 36, 1–19.
- Bakun-Czubarow N., 1968. Geochemical characteristic of eclogites from the environs of Nowa Wieś in the region of Śnieżnik Kłodzki. *Archiwum Mineralogiczne*, 38, 1, 243–384.
- Borg G., 1986. Faceted garnets formed by etching. Examples from sandstones of Late Triassic age, South Germany. *Sedimentology*, 33, 141–146.
- Borkowska M. & Smulikowski K., 1973. *Minerały skałotwórcze*. Wyd. Geol., Warszawa, 1–477.
- Budzyń B., Manecki M. & Schneider D.A., 2004. Constraints on P-T conditions of high-grade metamorphism in the Góry Sowie Mts, West Sudetes. *Mineralogia Polonica*, 35, 2, 39–52.
- Chmielová M., Martinec P. & Weiss Z., 1997. Almandine-pyrope-grossular garnets: a method for estimating their composition using X-ray powder diffraction patterns. *European Journal of Mineralogy*, 9, 403–409.
- Deer W.A., Howie R.A. & Zussman J., 1964. *Rock-forming minerals. Vol. 1. Ortho- and ring silicates*. Longmans, London, 1–333.
- Farmer V.C. (ed.), 1974. *The infrared spectra of minerals*. Mineralogical Society, London, 1–539.
- Grzebyk J. & Leszczyński S., 2006. New data on heavy minerals from the Upper Cretaceous-Paleogene flysch of the Beskid Śląski Mts. (Polish Carpathians). *Geological Quarterly*, 50, 2, 265–280.
- Guržij D.V. & Tkaczuk L.G., 1959. O stupenčatoj (čerepitčatoj) forme granatov. *Mineralogičeskij Sbornik Lvovskovo Geologičeskogo Obsčestva*, 13, 65–72.
- Heflik W., Muszyński M. & Parachoniak W., 1980. Petrografia utworów pstrego piaskowca z okolic Głogowa (monoklina przedsudecka). *Zeszyty Naukowe Akademii Górniczo-Hutniczej Geologia*, 6, 1, 29–52.
- Kale M.G. & Soman G.R., 2003. Faceted garnets from middle part of Barakar Formation, Ghugus area, Pranhita-Godavari Basin, Maharashtra. *Journal of the Geological Society of India*, 61, 3, 344–346.

- Koziol A.M., 1990. Activity-composition relationship of binary Ca-Fe and Ca-Mn garnets determined by reversed, displaced equilibrium experiments. *American Mineralogist*, 75, 319–327.
- Krauskopf K.B., 1967. *Introduction to geochemistry*. Mc Graw-Hill Book Company, New York.
- Lis J. & Sylwestrzak H., 1986. *Minerały Dolnego Śląska*. Wyd. Geol., Warszawa, 1–791.
- London D., 2006. Spessartine from Navegador, Minas Gerais, Brazil: etch or growth features? http://www.minsocam.org/MSA/Special/Pig/PIG_articles/etched_spssrtn.htm.
- Mader D., 1981. Diagenesis of the Bundsandstein (Lower Triassic) in western Eifel (Germany). *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen*, 142, 1, 1–26.
- Moenke H., 1962. *Mineralspectren*. Berlin.
- Morton A.C., Borg G., Hansley P.L., Haughton P.D., Krinsley D.H. & Trusty P., 1989. The origin of faceted garnets in sandstones: dissolution or overgrowth? *Sedimentology*, 36, 927–942.
- Morton A.C. & Hallsworth C.R., 1999. Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary Geology*, 124, 3–29.
- Oszczypko N. & Salata D., 2005. Provenance analyses of the Late Cretaceous – Palaeocene deposits of the Magura Basin (Polish Western Carpatians) – evidence from a study of the heavy minerals. *Acta Geologica Polonica*, 55, 3, 237–267.
- Pettijohn F.J., 1957. *Sedimentary rocks*. Harper & Brother Publishers, New York, 1–718.
- Putnis A., 1993. *Introduction to mineral sciences*. Cambridge University Press, 1–457.
- Rahmani R.A., 1973. Grain surface etching features of some heavy minerals. *Journal of Sedimentary Petrology*, 43, 3, 882–888.
- Sabeen H.M., Ramanujan N. & Morton A.C., 2002. The provenance of garnet: constraints provided by studies of coastal sediments from southern India. *Sedimentary Geology*, 152, 3–4, 279–287.
- Salata D., 2004. Detrital garnets from the Upper Cretaceous-Paleocene sandstones of the Polish part of the Magura Nappe and the Pieniny Klippen Belt: chemical constraints. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 74, 3, 351–364.
- Salvino J.F. & Velbel M.A., 1989. Faceted garnets from sandstones of the Munising Formation (Cambrian), northern Michigan: petrographic evidence for their origin by intrastratal dissolution. *Sedimentology*, 36, 2, 371–379.
- Simpson G.S., 1976. Evidence of overgrowths on, and solution of, detrital garnets. *Journal of Sedimentary Petrology*, 46, 3, 689–693.
- Smulikowski K., 1960. Petrographical notes on some eclogites of the East Sudetes. *Bulletin de l'Academie Polone des Sciences, Série des Sciences Géologiques et Géographiques*, 8, 1, 11–19.
- Smulikowski K., 1965. Chemical differentiation of garnets and clinopyroxenes in eclogites. *Bulletin de l'Academie Polone des Sciences, Série des Sciences Géologiques et Géographiques*, 13, 1, 11–18.
- Smulikowski K., 1967. Eklogity Gór Śnieżnickich w Sudetach. *Geologia Sudetica*, 3, 7–180.

- Sobolev N.V., 1964. Klassifikacija porodooobrazujuščih granatov. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, 157, 2, 353–356.
- Sokołowski J., 1967. Charakterystyka geologiczna i strukturalna obszaru przedsudeckiego. *Geologia Sudetica*, 3, 297–367.
- Stoch L., 1974. *Minerały ilaste*. Wyd. Geol., Warszawa, 1–503.
- Szyperko-Teller A., 1997. Trias dolny (pstry piaskowiec). Sedymentacja, paleogeografia i paleotektonika. W: Marek S. & Pajchłowa M. (red.), Epikontynentalny perm i mezozoik w Polsce. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*, 153, 121–132.
- Tröger E., 1959. Die Granatgruppe: Beziehungen zwischen Mineralchemismus und Gesteinsart. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen*, 93, 1, 1–44.
- Wright W.I., 1938. The composition and occurrence of garnets. *American Mineralogist*, 23, 5, 436–449.
- Zaporożceva A.S., 1960. O proishozhdenii stupenčatoj poverhnosti oblomočnyh zeren granata melovyh otloženij severa Jakutii. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, 131, 2, 380–383.
- Zawadzka K., 2001–2002 (printed 2003). Behaviour of garnets in diagenesis of Cenozoic sedimentary rocks: examples from Poland. *Archiwum Mineralogiczne*, 54, 99–112, http://www.geo.uw.edu.pl/AM/index_arch.htm.

Summary

In the years 1977–1978 the authors carried out petrographical investigations of rocks of the Lower and Middle Bundsandstein tapped with boreholes in the Fore-Sudetic monocline near Głogów (Fig. 1). Fractions of heavy minerals (Tab.1) separated out from several representative sandstone samples (mainly subarkosic wackes) were also analysed.

Among the heavy minerals, i.e. rounded grains of zircon, tourmaline, apatite, rutile (Fig. 4), and even mica flakes, there distinctly stand out angular, so-called faceted garnets (Figs 2–10) and occasional, subhedral, tabular grains of anatase (Fig. 11). As there are only a few information pieces on the occurrences of faceted garnets in Poland, these minerals were subject to detailed investigations. The method included optical microscopy (Figs 2–4), X-ray diffractometry (Tab. 2), infrared absorption spectroscopy (Tab. 3, Fig. 12) and scanning electron microscopy combined with chemical analyses in microareas (Tab. 4, Figs 5–10, 13). The garnets represent members of the almandine-pyrope series, in which almandine prevails over pyrope, and usually contain a subordinate admixture of the grossular member, whereas are devoid of the spessartine member. An alimentation area of these minerals was probably situated in the Sudetes (Śnieżnik massif, Góry Sowie Mts), where garnets with a similar composition are currently exposed in some rocks of the eclogite and granulite facies. The authors agree with currently prevailing opinions that the faceted garnets (co-occurring with rounded grains of zircon, tourmaline, rutile, apatite, and even mica flakes) were formed due to their selective diagenetic leaching by porous solutions. The process must have proceeded slowly in an alkaline or, possibly, neutral environment (the presence of unleached apatite and domination of smectites in the bounding mass of the sandstones indicate such pH values), under conditions approaching chemical equilibrium between the reacting phases, i.e. the garnets and the porous solutions.