

Pumpellyit w zmienionych zasadowych skałach wulkanicznych z okolic Gorzowa Wielkopolskiego (północno-zachodnia część monokliny przedsudeckiej): przejawy metamorfizmu bardzo niskiego stopnia (VLGM)

Elżbieta Dubińska*, Bogusław Bagiński*, Grzegorz Kaproń*, Paweł Bylina**

Pumpellyite in altered volcanic basic rocks from the region of Gorzów Wielkopolski (north-west part of Fore Sudetic Monocline): evidences of very low grade metamorphism (VLGM)

S u m m a r y. Rotliegend metavolcanic rocks in the Gorzów Wielkopolski region (NW part of the Fore Sudetic Monocline) overlie the Paleozoic basement and are covered by the Zechstein evaporitic sequence as well as the Mesozoic sequence. The metavolcanic series provides the first documentation that very low grade metamorphism (VLGM) affected Rotliegend volcanic rocks from the Fore Sudetic Monocline. Up to the present assemblages including chlorite, celadonite, carbonates, quartz, albite, adularia, anhydrite, zeolites, barite, etc. were tentatively interpreted as products of a post-volcanic hydrothermal activity. The altered volcanic rocks typically contain no relict minerals; scarce relict clinopyroxene, ilmenite and Cr-spinel were identified only in vesicle-poor varieties. The very low grade metamorphic (<200°C and about 2 kbar) assemblage includes abundant pumpellyite, laumontite, quartz and chalcedony, corrensite-type mineral, albite, smectite, calcite, minor anhydrite, potassium feldspar, titanite, hematite, pyrite, and accessory prehnite and chalcopryite. This assemblage occurs in amygdales, veinlets, and in a bulk rock.

The phenocrysts of mafic minerals, both olivine and orthopyroxene (?) did not survive alteration and were completely obliterated by clay minerals and pumpellyite. Primary Ca-rich primary plagioclase is totally albitized and overprinted by Al-pumpellyite and K-feldspar. The groundmass contains irregularly distributed clay minerals, laumontite, pumpellyite, chalcedony, quartz, calcite, hematite, and titanite. Hydraulic fracturing commonly dismembered metavolcanic rocks into fragments of highly altered volcanic fragments successively cemented by younger anhydrite, chalcedony, quartz, and calcite, producing breccia-type species. The fan-shaped pumpellyite in amygdales is commonly zoned with the Fe-rich base and Al-rich apex; moreover, Fe-rich pumpellyite fragments are frequently trapped in amygdale filling and veiny quartz. The amygdales and veinlets can contain abundant albertite-type bitumens concomitant with Al-rich pumpellyite.

Detailed petrographic study combined with extensive XRD and microprobe analysis reveal the following mineral sequence: anhydrite+Fe-pumpellyite+laumontite+albite (older) Al-pumpellyite + layer silicates (younger). There were several episodes of SiO₂ group minerals and calcite formation.

The VLG metamorphism of Rotliegend volcanic rocks can be tentatively attributed to the penetration of sea water through an evaporite sequence; however, albertite seems to be a product of upwelling fluids released during burial metamorphism of sedimentary rock series underlying extrusive Permian unit.

nach zasadowych tych skał obejmuje chloryt, seladonit, serycyt, minerały z grupy serpentynu, węglany (kalcyt, dolomit, syderyt), opal, chalcedon, kwarc, albit, adular, anhydryt, tytanit, iddingsyt, bowlingit, zeolity, baryt, agregat epidotowo-serycytowy, urozmaicony zespół minerałów kruszcowych (np. Jackowicz, 1991; Kłapciński i in., 1988; Protas i in., 1995; Ryka, 1981; Siemaszko, 1978; Speczik & Ryzdewski, 1983). Wymienione produkty przemian niskotemperaturowych występowały w formie mniej lub bardziej kompletnych pseudomorfoz po fenokryształach, zastępowały pierwotne składniki tła, tworzyły migdały, żyłki, impregnacje. Zmiany te przypisywano powulkanicznej aktywności hydrotermalnej (op. cit.).

Niskotemperaturowe zmiany są powszechne w zasadowych i obojętnych skałach wulkanicznych różnego wieku; istotna część tych zmian zachodzi w reżimie metamorfizmu bardzo niskiego stopnia (*very low grade metamorphism* — VLGM). Jednym z ważniejszych wskaźników mineralnych zmian metamorficznych tego rodzaju jest pumpellyit — Ca₂(Mg,Fe²⁺)(Al,Fe³⁺)Si₆O₂₁(OH)₇ (np. Beiersdorfer & Day, 1995; Ishizuka, 1991; Liou & Ernst, 1979). W skałach wulkanicznych z monokliny przedsudeckiej dotychczas nie stwierdzono tego minerału. Występowanie pumpellyitu w Polsce do tej pory było uważane za wyjątkowe; minerał ten znaleziono w tzw. strefie leukokratycznej, w łomie nefrytu w okolicach Jordanowa k. Sobótki (Heflik, 1965) oraz w metabazytach facji niebieskich łupków, w Górach Kaczawskich (Kryza, 1993).

Przedmiotem przedstawionych badań są silnie zmienione andezyty i bazalty z wierceń w okolicy Gorzowa Wielkopolskiego (ryc. 1), pochodzące ze stropu serii wulkanicznej czerwonego spągowca, przykryte cechsztyńskimi utworami ewaporytowymi. Zainteresowanie autorów koncentrowało się na produktach zmian skał wulkanicznych; szczególnie nacisk położono na identyfikację pumpellyitu i określenie sekwencji rozwoju składników wtórnych wraz z próbą odzwierciedlenia warunków ich rozwoju.

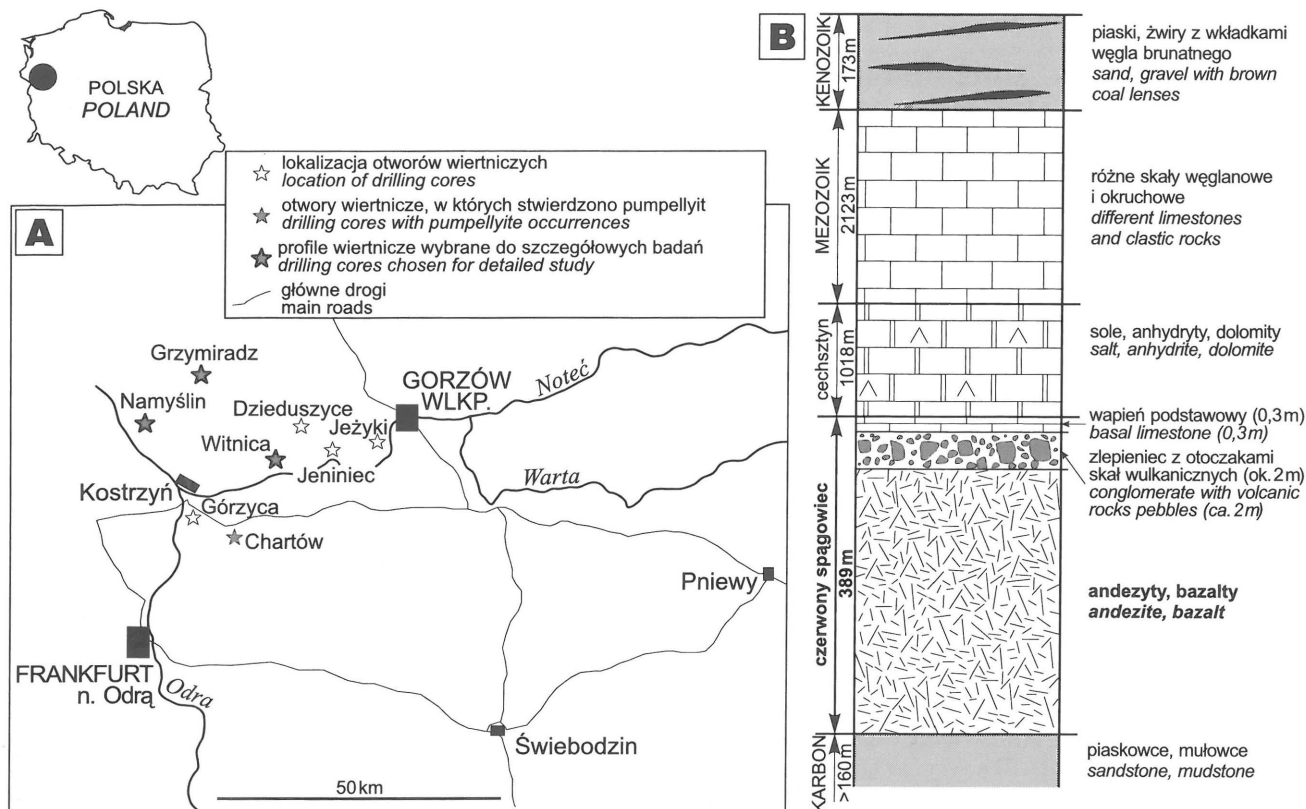
Materiały i metody badań

Próbki do badań szczegółowych zostały wytypowane na podstawie wstępnej charakterystyki ok. 400 próbek pochodzących ze stropu siedmiu profili wiertniczych usytuowanych w okolicy Gorzowa Wielkopolskiego (ryc. 1). Celem badań było prześledzenie procesów zmian, zatem szczególną uwagę zwracano na skały o niejednorodnym zabarwieniu, kruche, z licznymi migdałami, żyłkami i innymi rodzajami późnych przerostów. Za najbardziej obiecujące uznano materiały z wiercenia Namyślin 1 (3220–3454 m, ok. 70 próbek) oraz z wiercenia Grzymiradz 1 (3464–3491 m, ok. 10 próbek). Są to skały o zmiennym, plamistym rozmieszczonym zabarwieniu czarniawym, brązowym i szarzielonkawym; z migdałami o długości do 2 cm i pocięte żyłkami o miąższości od dziesiątych części milimetra do kilku centymetrów. Ze względu na niejednorodność bada-

Zmienione permskie skały wulkaniczne monokliny przedsudeckiej od lat budziły zainteresowanie mineralogów i petrologów. Bogaty inwentarz produktów zmian w odmia-

*Wydział Geologii Uniwersytet Warszawski,
ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa

**Instytut Nauk Geologicznych, Polska Akademia Nauk,
ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa



Ryc. 1. A. Szkic sytuacyjny wierceń, z których pochodzą próbki wykorzystane do badań; B — schematyczny profil geologiczny na przykładzie wiercenia Jeninieć 2

Fig. 1. A. Sketch of the location of drilling cores used in the present study; B — schematic geological section as represented by hole Jeninieć 2

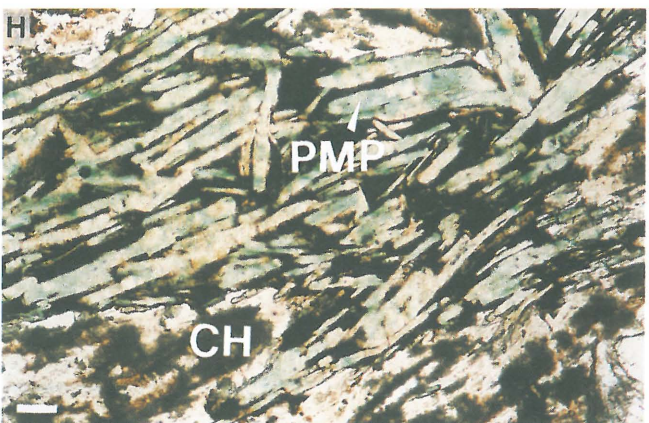
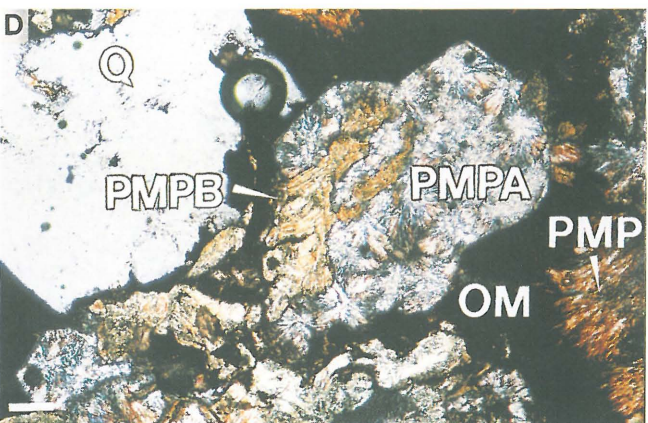
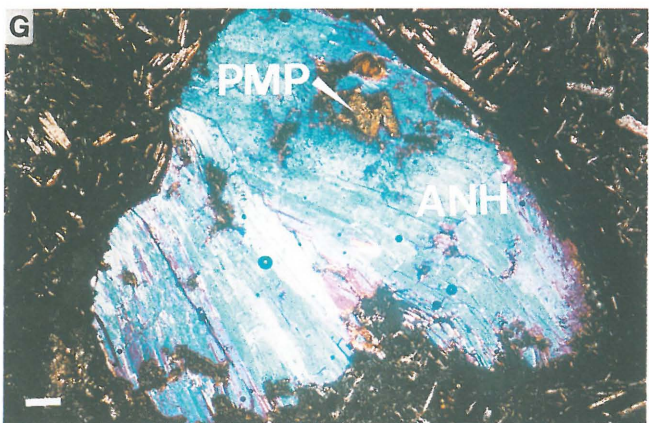
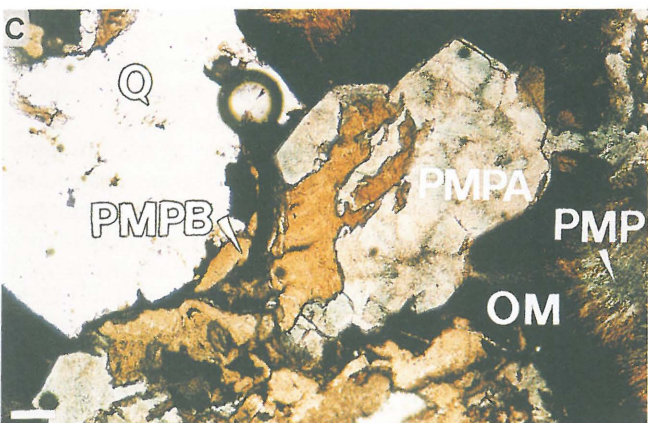
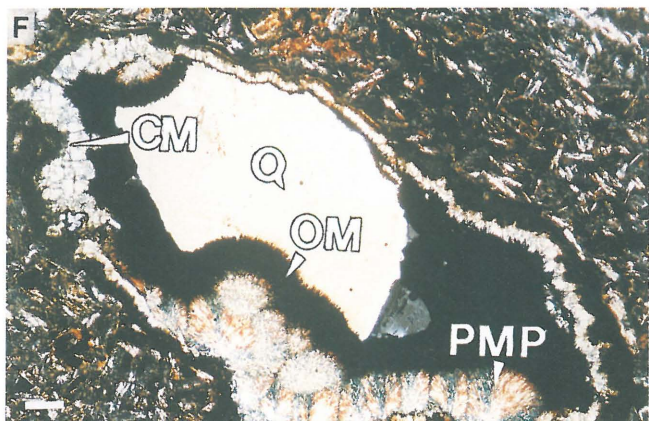
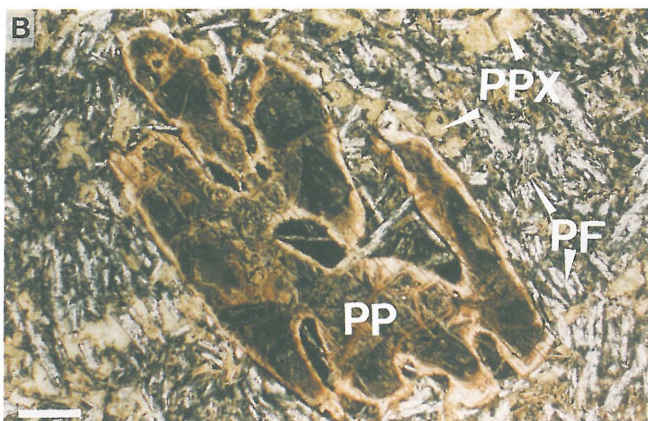
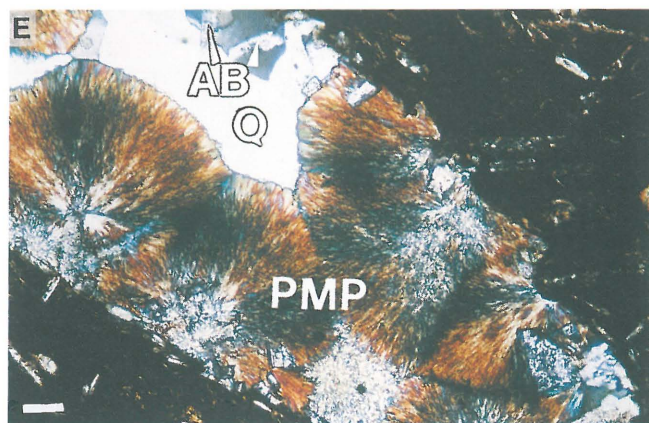
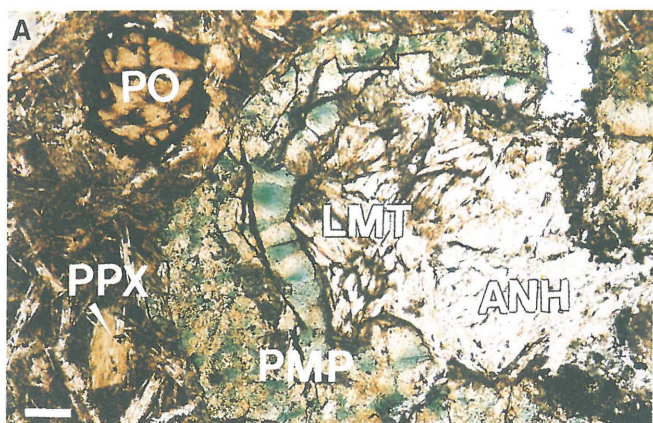
Ryc. 2. Seria mikrofotografii ilustrujących rozwój pumpellyitu w skałach metawulkanicznych; A — Migdał zawierający współrodkowe pasy pumpellyitu (odmiana szmaragdowozielona, PMP), laumontytu (LMT) i anhidrytu (ANH); w tle skalnym pseudomorfoza krzemianów warstwowych po oliwinie (PO), pseudomorfoza po piroksenie (PPX), całkowicie zalbityzowane listewki plagioklazów oraz polikrystaliczny agregat (krzemiany wartwowe, hematyt, pumpellyit) rozwinięty kosztem szkliwa (?), Namyślin 1, 3224 m, mikroskop polaryzacyjny, jeden polaryzator, skala odpowiada 100 µm; B — pseudomorfoza po fenokryształach ciemnego (PP, hornblenda?) złożona z obwódki krzemianów warstwowych (na zdjęciu widoczna pseudoślupliwość) i strefy centralnej, bogatej w pumpellyit (odmiana tabaczkowobrunatna); pseudomorfozę po fenokryształach otaczają liczne pseudomorfozy po piroksenach jednoskośnych (PPX, przerost krzemianów warstwowych i pumpellyitu) oraz po plagioklazach (PF, przerost albitu i pumpellyitu skał potasowych), Namyślin 1, 3226 m, mikroskop polaryzacyjny, jeden polaryzator, skala odpowiada 200 µm; C — Pseudomorfoza po zroście glomeroporfirowym minerałów ciemnych (pirokseny?) zawierająca dwie generacje pumpellyitu: młodszą, o zabarwieniu szmaragdowozielonym, tworzącą skupienia wachlarzowe (PMPA) i starszą — drobnoziarnistą (PMPB), o zabarwieniu tabaczkowobrunatnym; fragment skały masywnej, przemieszczony do pęcherza wskutek tektoniki hydraulicznej; pęcherz, zawiera ponadto wachlarze szmaragdowozielonego pumpellyitu (PMP), albertyt (asfalt, OM) i kwarc (Q); Namyślin 1, 3224 m, mikroskop polaryzacyjny, jeden polaryzator, skala odpowiada 100 µm; D — Patrz objaśnienia do ryc. 2C; Namyślin 1, 3224 m, mikroskop polaryzacyjny, polaryzatory skrzyżowane, skala odpowiada 100 µm, E — Migdał zawierający wachlarze szmaragdowozielonego pumpellyitu z anomalnymi barwami interferencyjnymi (PMP), kwarc (Q), albertyt (OM), krzemiany warstwowe (niewidoczne na zdjęciu) i albit (AB), Namyślin 1, 3227 m, mikroskop polaryzacyjny, polaryzatory skrzyżowane, skala odpowiada 100 µm, F — Migdał zawierający wachlarze szmaragdowozielonego pumpellyitu (PMP), pumpellyit o barwie tabaczkowobrunatnej (niewidoczny na zdjęciu), kwarc (Q), albertyt (OM), krzemiany warstwowe (CM), Namyślin 1, 3226,5 m, skala odpowiada 200µm, G — Migdał wypełniony anhidrytem (ANH) z fragmentami pumpellyitu o barwie tabaczkowobrunatnej (tektonika hydrauliczna?, PMP), Namyślin 1, 3224 m, mikroskop polaryzacyjny, polaryzatory skrzyżowane, skala odpowiada 200 µm, H — żyłka anhidrytu lokalnie wypieranego przez szmaragdowozieloną odmianę pumpellyitu (PMP) i chalcodon (CH), Namyślin 1, 3231 m, mikroskop polaryzacyjny, jeden polaryzator, skala odpowiada 100 µm

Fig. 2. The series of the photomicrographs outlining the development of pumpellyite in metavolcanic rocks

A — The amygdale filled with concentric bands of pumpellyite (emerald-green variety, PMP), grading into laumontite (LMT) and anhydrite (ANH); the wallrock groundmass contains olivine phenocryst pseudomorphically replaced by layer silicates (PO), replacement after pyroxene (PPX), completely albitized plagioclase blades, and heavily altered volcanic glass (?), at present polycrystalline aggregate composed of layer silicates, hematite, and pumpellyite, Namyślin 1, 3224 m, crossed polars, scale bar denotes 100 µm

B — The replacement of a mafic mineral (PP, hornblende?) with rim composed of layer silicate (the pseudocleavage is well pronounced) and pumpellyite-rich core (tobacco-brown variety); the replacement after phenocryst is surrounded by numerous replacements after a clinopyroxene (PPX, intergrowth of layer silicate and pumpellyite) as well as after plagioclase (PF, intergrowth of albite and pumpellyite potassium feldspar), Namyślin 1, 3226 m, crossed polars, scale bar denotes 200 µm, C — Replacement of glomeroporphyritic cluster comprised mafic minerals (pyroxene?) containing two generations of pumpellyite: the younger one, composed of emerald-green coloured fan-like agglomeration (PMPA) and the older one — fine grained, tobacco-brown; piece of the wallrock rock, emplaced into the amygdale due to hydraulic fracturing; the amygdale also contains emerald-green fan of pumpellyite (PMP), albertite (asphaltite, OM), quartz (Q); Namyślin 1, 3224 m, one polars, scale bar denotes 100 µm, D — For explanations see fig. 2C, Namyślin 1, 3224 m, crossed polars, scale bar denotes 100 µm, E — The amygdale filled with emerald-green fans of pumpellyite displaying anomalous interference colours (PMP), quartz (Q), albertite (OM), and albite (AB), Namyślin 1, 3227 m, crossed polars, scale bar denotes 100 µm, F — The amygdale filled with emerald-green fans of pumpellyite (PMP), tobacco-brown pumpellyite (out of microphotograph area), quartz (Q), albertite (OM), layer silicates (CM), Namyślin 1, 3226,5 m, crossed polars, scale bar denotes 200 µm, G — The amygdale filled with anhydrite (ANH) containing fragments of tobacco-brown pumpellyite (hydraulic fracturing?, PMP), Namyślin 1, 3224 m, crossed polars, scale bar denotes 200 µm, H — Anhydrite veinlet partially replaced with emerald-green pumpellyite variety (PMP) and chalcodony (CH), Namyślin 1, 3231 m, one polar, scale bar denotes 100 µm

H — Anhydrite veinlet partially replaced with emerald-green pumpellyite variety (PMP) and chalcodony (CH), Namyślin 1, 3231 m, one polar, scale bar denotes 100 µm



Tab. 1. Skład chemiczny pumpellyytu ze zmienionych skał wylewnych w okolicach Gorzowa Wielkopolskiego (analizy przykładowe)

Sposób występowania pumpellyytu	Wachlarze w migdałach			Pseudomorfozy po minerałach ciemnych			Przerosty ze skaleniami			Tło
	N1 (3226 m)	N1 (3227 m)	N1 (3227 m)	N1 (3226 m)	N1 (3227 m)	G1 (3292,5)	N1 (3227)	G1 (3294)	N1 (3227,5 m)	G1 (3494 m)
wiercenie (głębokość)										
SiO ₂	39,07	38,92	36,79	37,90	41,08	40,48	39,36	41,12	36,59	41,45
TiO ₂	n.d.	n.d.	n.d.	0,11	0,06	-	0,15	0,05	-	0,03
Al ₂ O ₃	22,05	22,32	20,66	17,84	22,69	22,47	21,92	21,18	17,90	23,03
Cr ₂ O ₃	n.d.	0,13	-	0,01	-	-	0,13	-	-	-
FeO tot.	7,35	7,25	9,44	13,21	10,26	8,57	8,59	11,68	13,08	8,51
MnO	0,09	n.d.	n.d.	0,12	0,11	-	0,11	0,02	-	0,10
NiO	n.d.	0,09	-	-	-	-	0,08	-	-	-
MgO	2,90	2,41	2,93	2,72	2,94	3,36	2,69	2,70	2,78	3,30
CaO	23,94	23,33	23,28	23,44	23,96	24,76	24,74	25,48	22,91	25,50
K ₂ O	0,04	0,06	0	0,01	0,08	0,05	0,05	-	-	0,07
Na ₂ O	-	n.d.	0	0,04	0,03	-	-	0,07	-	-
suma	95,44	98,87	93,10	95,40	93,23	92,89	93,45	92,95	93,26	93,17
normalizacja na 6 atomów Si										
Si	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Ti				0,01			0,02	0,01		
Al	3,99	4,13	3,97	3,33	3,90	3,92	3,94	3,64	3,46	3,93
Cr		0,02					0,02			
Fe ³⁺ *	0,01		0,03	0,67	0,10	0,08	0,06	0,36	0,54	0,07
Fe ²⁺ **	0,94	0,95	1,26	1,08	1,16	0,99	1,03	0,99	1,25	0,96
Mn	0,01			0,0	0,01		0,01			0,01
Ni		0,01					0,01			
Mg	0,66	0,57	0,71	0,64	0,64	0,74	0,61	0,59	0,68	0,71
Ca	3,94	3,92	4,07	3,97	3,75	3,93	4,04	3,98	4,02	3,96
K	0,01	0,01			0,01	0,01	0,01			0,01
Na				0,01				0,02		

n.d. - nie wykryto, - brak, * zawartość Fe³⁺ = 4 - Al; ** zawartość Fe²⁺ = Fe²⁺ tot. - Fe³⁺; N1 - wiercenie Namyślin 1, G1 - wiercenie Grzymiradz 1

nych próbek partie różniące się makroskopowo badano odrębnie: dyfraktogramy wykonywano z różnie zabarwionych fragmentów, pęcherzy, żyłek itp.; w podobny sposób były przygotowane preparaty do badań mikroskopowych i mikrosondowych.

Badania rentgenowskie wykonano z zastosowaniem dyfraktometru DRON-1 i Philips PW1730 stosując promieniowanie CoK α . W większości próbek skład minerałów oznaczono przy pomocy mikrosony elektronowej, korzystając z mikroskopu elektronowego Jeol-JXA-840A — AN-1000/855 (15 keV, 35 nA, poprawki obliczono metodą ZAF, jako wzorce wykorzystano krzemiany syntetyczne i naturalne wzorce mineralne). W części próbek skład minerałów, ich jednorodność chemiczną oraz skład i budowę przerostów analizowano Jeol JSM-6300 (20 keV, 50 nA, średnica wiązki ok. 1 μ m, poprawki obliczane metodą ZAF). Rodzaj substancji organicznej oznaczono na podstawie widm w podczerwieni.

Wyniki i dyskusja

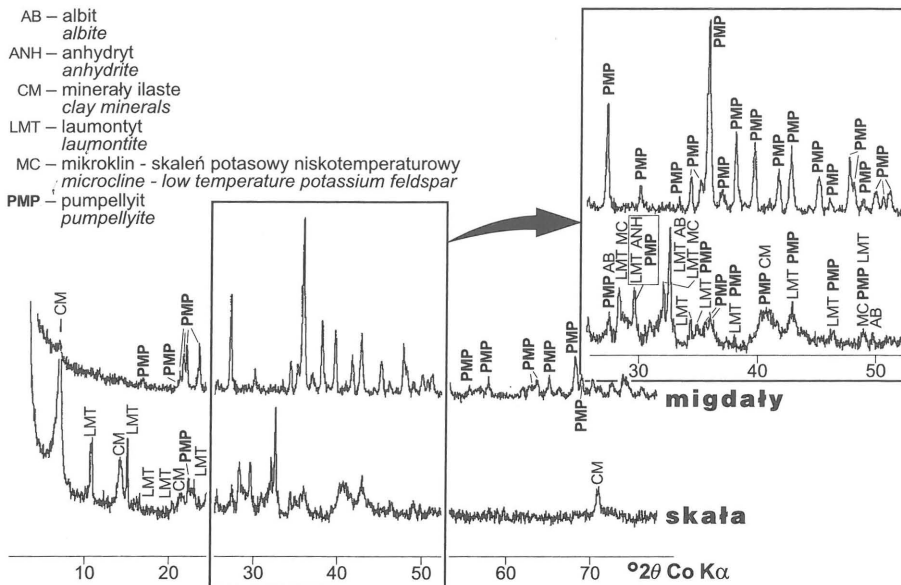
Zasadowe skały wulkaniczne okolic Gorzowa Wielkopolskiego wykazują silnie zaawansowane procesy zmian widoczne zarówno makroskopowo, jak i podczas badań szczegółowych; świeże są tylko nieliczne masywne dajki. W większości próbek skał wylewnych minerały pierwotne nie zachowały się; zaledwie w paru próbkach znaleziono relikty piroksenów jednoskośnych z tła skalnego oraz akcesoryczne spinele chromowe i ilmenit. Udało się jednak na podstawowych form i składu pseudomorfoz odtworzyć zespół podstawowych minerałów pierwotnych, na który składają się fenokryształy piroksenu (rombowego?) i oliwinu (w obu

przypadkach całkowicie zmienione, ryc. 2A), przypuszczalnie niektóre próbki zawierały również fenokryształy amfiboli, ryc. 2B). Tło skalne, obecnie całkowicie zmetasomatyzowane, pierwotnie składało się z zasadowych plagioklazów, drobnych piroksenów jednoskośnych oraz szkliwa.

Obecny zespół mineralny obejmuje liczne produkty zmian wymienionych składników. Są to: kwarc, chalcedon, albit, krzemiany warstwowe, pumpellyit, kalcyt, laumontyt, anhydryt, skałek potasowy, tytanit, hematyt, piryty, oraz sporadycznie chalkopiryty i prehnit. Wypełnienia pęcherzy i żyłki często zawierają ponadto bituminy (albertyt — rodzaj asfaltu, rodzimie występującej frakcji asfaltowej, będącej produktem przemian metamorficznych ropy naftowej)). Skały wykazują liczne przejawy tektoniki hydraulicznej (hydraulic fracturing); niektóre próbki sprawiają wrażenie brekcji silnie zmienionej skały wulkanicznej spojonej minerałami z grupy SiO₂, kalcytem, pumpellyitem i anhydrytem. Stwierdzono następujące sposoby występowania pumpellyitu:

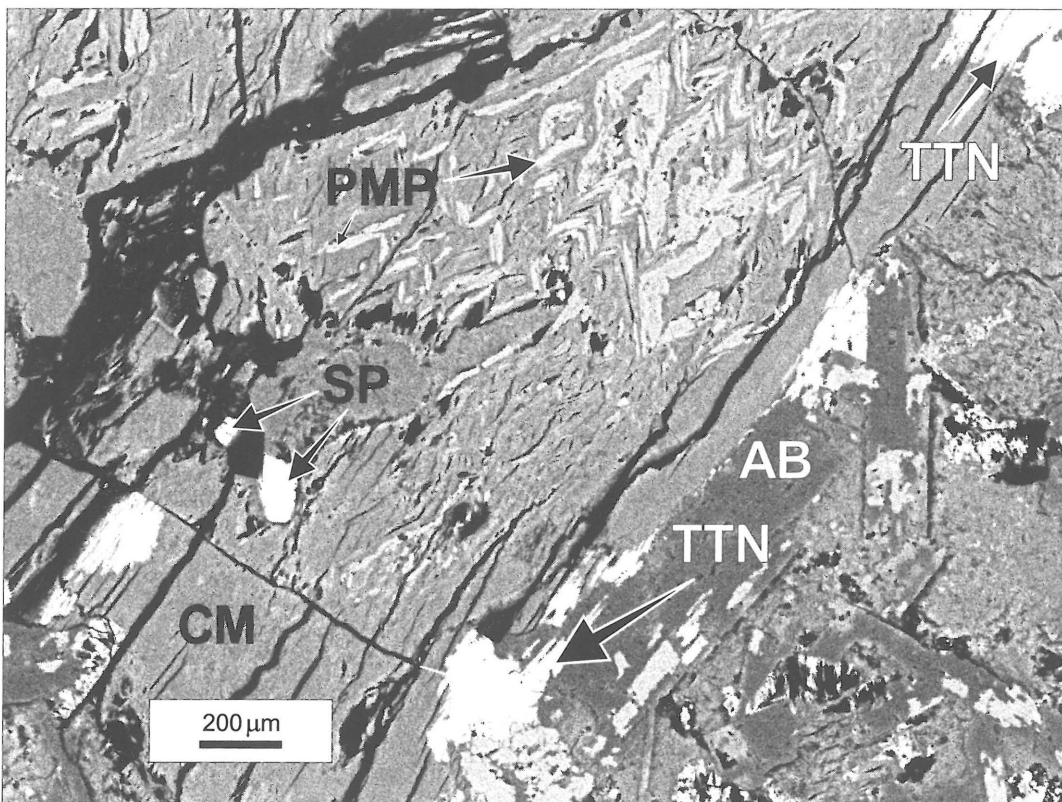
- pseudomorfozy po fenokryształach minerałów ciemnych,
- wypełnienia migdałów i żyłek,
- wśród produktów zmian tła skalnego,
- przerosty z albitem w pseudomorfozach po mikrolitach zasadowych plagioklazów.

Dyfraktogramy prawie monomineralnego pumpellyitu z migdału oraz, dla porównania, dyfraktogram skały bogatej w pumpellyit (ryc. 3) ilustrują kłopoty z identyfikacją tego minerału. Jego najsilniejszy refleks pokrywa się z głównym refleksem dolomitu (2,89Å), a pozostałe refleksy nakładają się na refleksy innych faz: laumontytu, anhydrytu, mikroklinu. Cechy optyczne pumpellyitu również nie dają możliwości pewnej identyfikacji. Wiarygodna identyfikacja rentgenowska jest



Ryc. 3. Przykładowe dyfraktogramy rentgenowskie: 1 — dyfraktogram migdału zawierającego prawie monomineralny pumpellyit (Grzymiradz 1, 3495,5 m), 2 — dyfraktogram zmienionej skały bogatej w pumpellyit (Namyślin 1, 3226 m)

Fig. 3. X-ray diffraction tracings, exemplary: 1 — tracing of the amygdale containing almost pure pumpellyite (Grzymiradz 1, 3495,5 m), 2 — whole rock tracing of sample rich in pumpellyite (Namyślin 1, 3226 m)



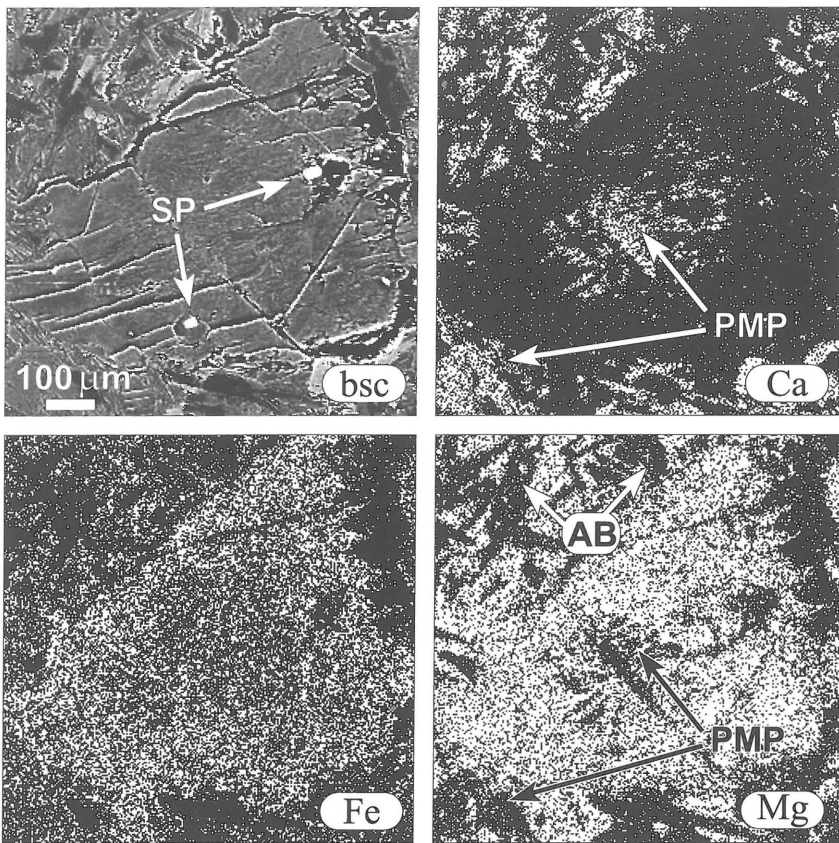
Ryc. 4. Strefowa pseudomorfoza po fenokryształach minerału ciemnego (piroksen?); w strefie brzeżnej, wykazującej pseudoślupliwość — krzemiany warstwowe (CM); w części środkowej — zygawkowate agregaty pumpellyitu (PMP) w tle krzemianów warstwowych; widoczna reliktoowa budowa ofitowa tła skalnego z listewkami pseudomorfoz albitowo (AB) — pumpellyitowych po zasadowym plagioklazie; TTN — tytanit, przypuszczalnie powstały dzięki uruchomieniu tytanu z rozłożonego piroksenu, SP — spinel chromowy (reliktowy), Namyślin 1, 3226,5 m, obraz elektronów wstecznie rozproszonych

Fig. 4. Zonal replacement after mafic mineral (pyroxene ?); the rim zone, with pseudocleavage, contains layer silicates (CM); the core is composed of zigzag-like pumpellyite aggregates (PMP) at the background of layer silicates; see relict ophitic texture of groundmass and blades of An-rich plagioclases replaced with albite (AB) — pumpellyite; TTN — titanite, probably formed due to Ti released from altered pyroxene, SP — Cr-rich spinel (relict), Namyślin 1, 3226.5 m, backscattered electron image

możliwa tylko w przypadku skupień bardzo bogatych w pumpellyit. W pozostałych przypadkach konieczna jest systematyczna kontrola mikrosondowa składu chemicznego, połączona z badaniami dyfrakcyjnymi.

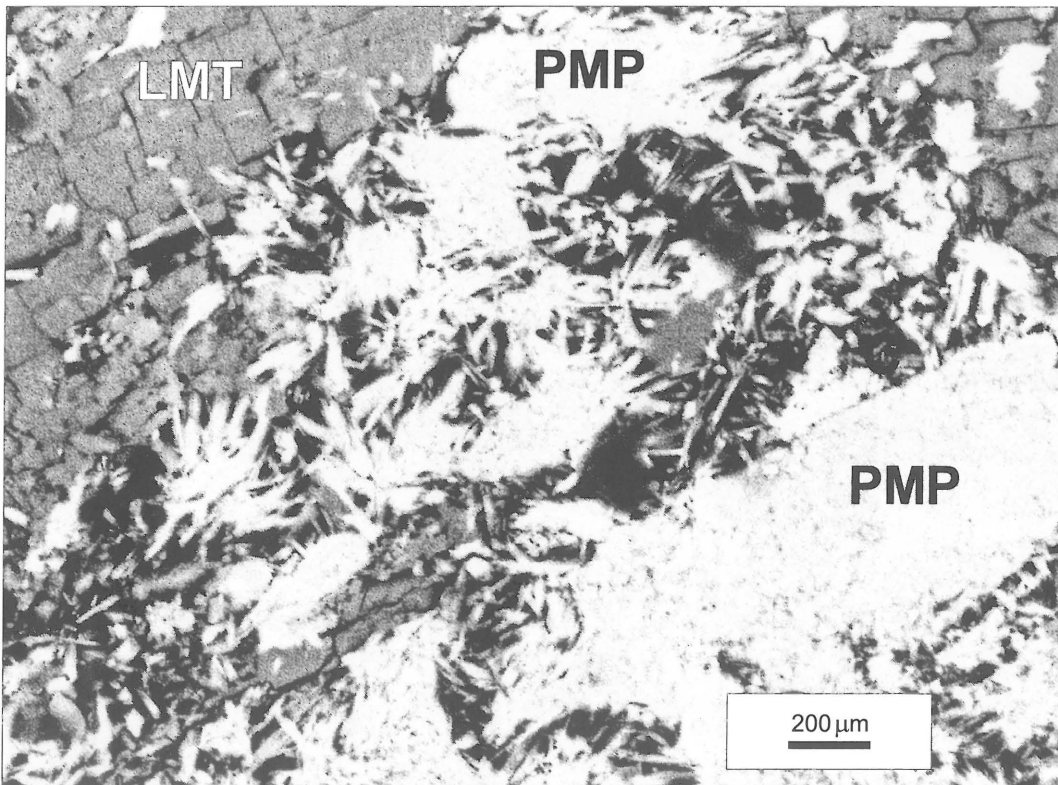
Fenokryształy minerałów ciemnych zostały całkowicie

zastąpione przez krzemiany warstwowe według wstępnych oznaczeń minerał typu corrensytu i smektyt) i pumpellyit. Pseudomorfozy te zwykle wykazują budowę strefową. Strefa zewnętrzna pseudomorfoz, zbudowana z krzemianów warstwowych, mikroskopowo sprawia wrażenie jednorodnego



Ryc. 5. Strefowa pseudomorfoza po mikrofenokryształach minerału ciemnego (piroksen?), w tle listewki całkowicie zalbityzowanego plagioklazu oraz szkliwa zmienione w przerost minerałów ilastych, kwarcu i pumpellyitu; BSC — obraz elektronów wstecznie rozproszonych, Namyślin 1, 3227.5 m

Fig. 5. Zonal replacement after a mafic mineral (pyroxene?) microphenocryst, the groundmass includes completely albitized plagioclase blades and glass altered into clay minerals, quartz and pumpellyite; BSC — back-scattered electron image, Namyślin 1, 3227.5 m



Ryc. 6. Tło skalne wyparte przez pumpellyit (PMP) i laumontyt (LMT); przerosty pumpellyitu z laumontytem (środkowa część ryciny) oraz agregaty monomineralne (np. lewa dolna część ryciny), obraz elektronów wstecznie rozproszonych, Namyślin 1, 3226.5 m

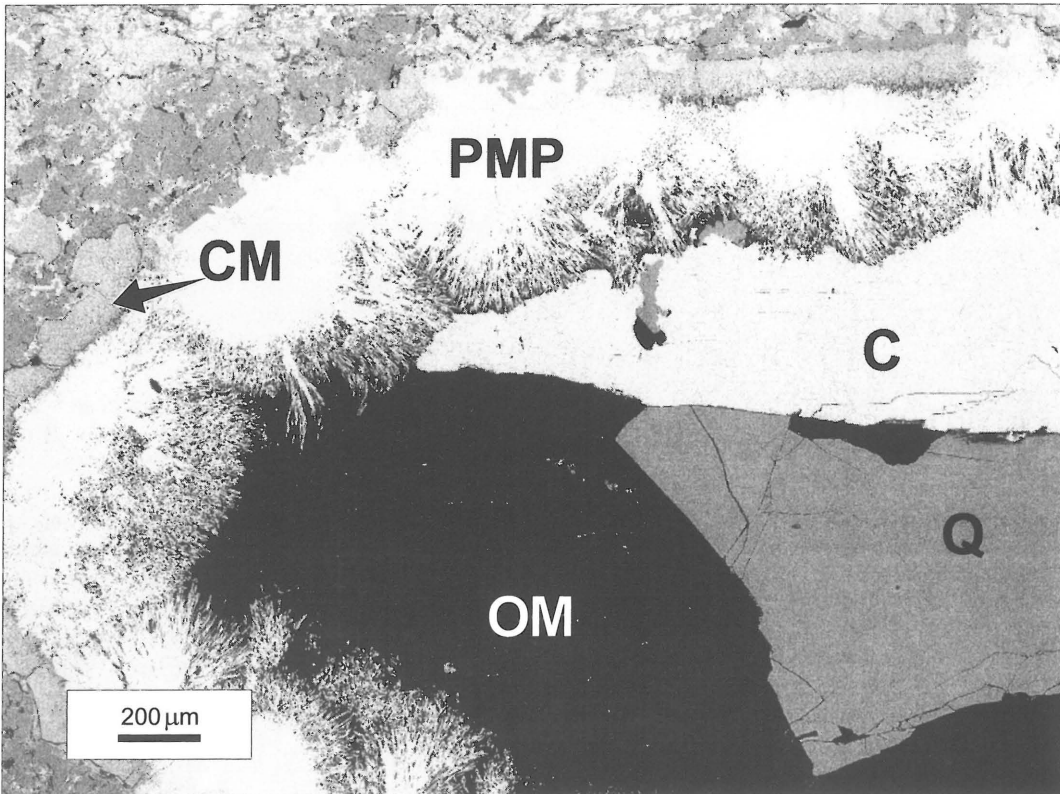
Fig. 6. The groundmass replaced with pumpellyite (PMP) and laumontite (LMT); pumpellyite-laumontite intergrowths (center) and monomineral pumpellyite aggregates (left bottom), back-scattered electron image, Namyślin 1, 3226.5 m

pleochroicznego minerału, z dobrą łupliwością (ryc. 2B). W jądrach strefowych pseudomorfoz występuje przerost drobnoziarnistego pumpellyitu z krzemianami warstwowymi (ryc. 4, 5).

W partiach o silniej zaznaczonych procesach przemian obserwuje się pełne pseudomorfozy pumpellyitu (± kwarc)

po minerałach maficznych; tylko kształt pseudomorfozy wskazuje na przypuszczalny rodzaj minerału pierwotnego (ryc. 2C i 2D).

Mikrolity plagioklazów są całkowicie zalbityzowane, często przerośnięte skaleniem potasowym i pumpellyitem. W tle skalnym występuje laumontyt, pumpellyit, kwarc, magnezowo-żelaziste krzemiany warstwowe, skałki potasowy



Ryc. 7. Migdał zawierający krzemiany warstwowe (CM), pumpellyit (odmiana szmaragdowo-zielona, PMP), kalcyt (C), kwarc (Q) oraz albertyt (OM); zewnętrzne partie wachlarzy pumpellyytu przerastają się z albertytem, obraz elektronów wstecznie rozproszonych, Namyślin 1, 3226.5 m

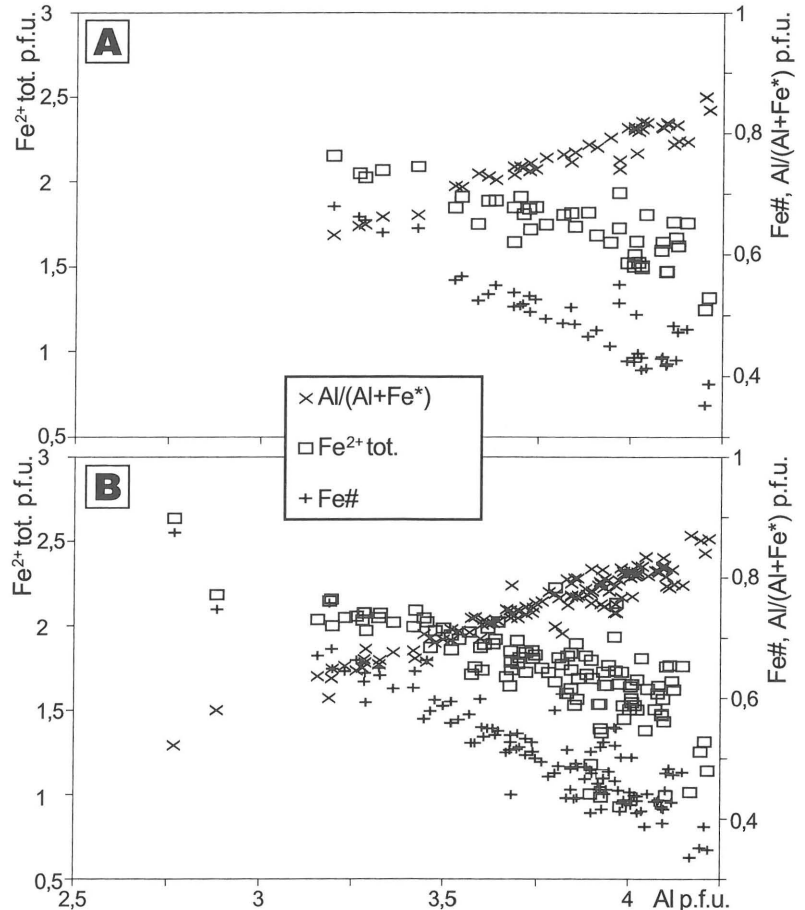
Fig. 7. The amygdale containing layer silicates (CM), pumpellyite (emerald-green variety, PMP), calcite (C), quartz (Q) and albertite (OM); outer fringe of pumpellyite fans are intergrown with albertite, back-scattered electrons, Namyślin 1, 3226.5 m

oraz podrzędnie tytanit, hematyt, ilmenit i piryt. Pumpellyit tworzy monomineralne agregaty, przerosty z laumontytem (ryc. 5), kwarcem, krzemianami warstwowymi. Pęcherze i żyłki wypełnione są kwarcem, chalcedonem, laumontytem, pumpellyitem, kalcytem, anhydrytem, 14Å-żelazistym krzemianem warstwowym i albertytem (ryc. 2D, 2E, 2F i 7).

Najbardziej czytelnie wykształcone agregaty pumpellyytu występują w migdałach i żyłkach (ryc. 2E, 2F i 6). Częstym składnikiem żyłek i migdałów jest anhydryt, który niekiedy spaja ostrokrawędziste fragmenty oliwkowej odmiany pumpellyytu (ryc. 2G), natomiast szmaragdowo-zielona odmiana

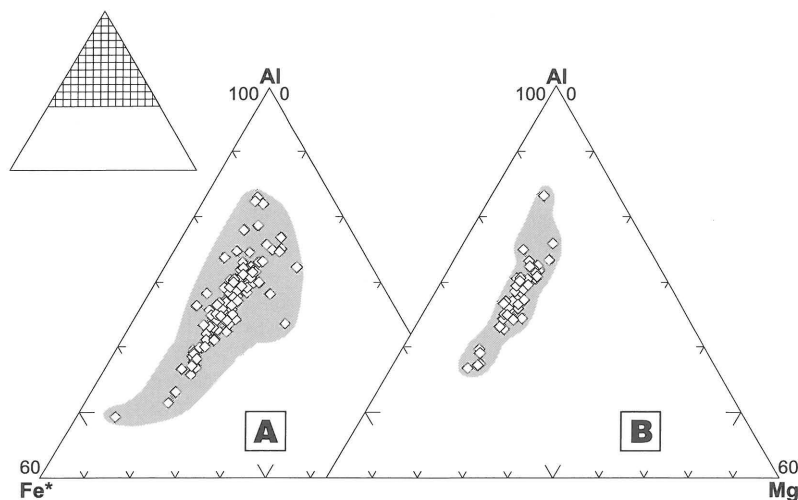
Ryc. 8. Diagramy pokazujące zróżnicowanie składu chemicznego pumpellyytu: A — pumpellyit z wachlarzy w migdałach i żyłkach, B — wszystkie formy występowania pumpellyytu; analizy znormalizowane na 6 atomów krzemu, Fe# — $Fe^{2+} \text{ tot.} / (Fe^{2+} \text{ tot.} + Mg)$, Fe* — całkowita zawartość żelaza przeliczona na Fe^{2+} (dla celów ilustracyjnych), p.f.u. — na jednostkę wzoru krystalochemicznego (per formula unit)

Fig. 8. Diagrams of pumpellyite chemical composition variation: A - pumpellyite from fans in amygdales and veins, B — all analyses of pumpellyite; analyses normalised on 6 atoms of Si, Fe# - $Fe^{2+} \text{ tot.} / (Fe^{2+} \text{ tot.} + Mg)$, Fe* — total Fe contents as Fe^{2+} (for illustrative purposes), p.f.u. — per formula unit



pumpellyytu wypiera anhydryt (ryc. 2H). W strefowych wachlarzach odmiana oliwkowa występuje u nasady igiełkowych osobników, natomiast odmiana szmaragdowo-zielona tworzy ich końce. Minerale z grupy SiO_2 oraz kalcyt pojawiają się w wymienionej sekwencji kilkakrotnie (por. ryc. 2E i 2F). Niekiedy obserwuje się zastępowanie anhydrytu przez chalcedon (ryc. 2H).

Zróżnicowanie składu pumpellyytu (tab. 1) jest widoczne w skali poszczególnych próbek i form występowania. Obserwuje się ciągłą zmianę zawartości glinu, żelaza i stosunku $Al/(Al+Fe^*)$ (ryc. 8) przy prawie sta-



Ryc. 9. Diagram zmienności składu chemicznego pumpellyytu w układzie $Fe^* - Mg - Al$, stosunki atomowe, Fe^* — patrz objaśnienia do ryc. 8

Fig. 9. Diagram displaying diversity of pumpellyite chemical composition in $Fe^* - Mg - Al$ system, atomic ratios, Fe^* — for explanations see fig. 8

łej zawartości magnezu (ryc. 9). Glinowa odmiana pumpellyytu często tworzy przerosty z asfaltytem (ryc. 10).

Relacje przestrzenne między składnikami wtórnymi badanych skał sugerują następującą sekwencję ich powstawania: anhydryt—Fe—pumpellyit—laumontyt+Al—pumpellyit—asfaltyt. W badanych próbkach występuje kilka generacji krzemianów warstwowych, kalcytu oraz minerałów z grupy SiO_2 . Pumpellyit jest jednym z głównych składników badanych skał; w niektórych próbkach jego zawartość osiąga kilkanaście procent objętościowych.

Przedstawione zmiany skał wylewnych rejestrują nieznaną do tej pory z obszaru monokliny przedsudeckiej epizod agresywnego powaryscyjskiego metamorfizmu. Na ryc. 11 pokazano orientacyjne położenie pola stabilności paragenety pumpellyit—laumontyt w badanych skałach. Zespół pumpellyit—laumontyt wskazuje na temperatury ok. 150–200°C i ciśnienia powyżej 2 kb (Bucher & Frey, 1994; Frey i in., 1991; Himmelberg, 1995), tj. warunków odpowiadających metamorfizmowi bardzo niskiego stopnia (VLGM), opisywanego również jako metamorfizm facji zeolitowej lub subzieleńcowej (*subgreenschist*). Częste występowanie anhydrytu w metabazytach wskazuje na wpływ składników uruchomianych z nadległych utworów ewaporytowych cechsztynu, co sugeruje młodszy od cechsztynu wiek metamorfizmu regionalnego. W permskich kwaśnych skałach wulkanicznych z obszaru wschodniej Brandenburgii stwierdzono zespół minerałów typowych dla VLGM, których wiek określono na 160–170 mln lat (G. A. Brecht, informacja ustna). Zmiany metamorficzne skał wulkanicznych z okolic Gorzowa Wielkopolskiego są przypuszczalnie tego samego wieku.

Przyczyna opisanych zmian metamorficznych jest niejasna. Wstępnie można przedstawić dwie hipotezy:

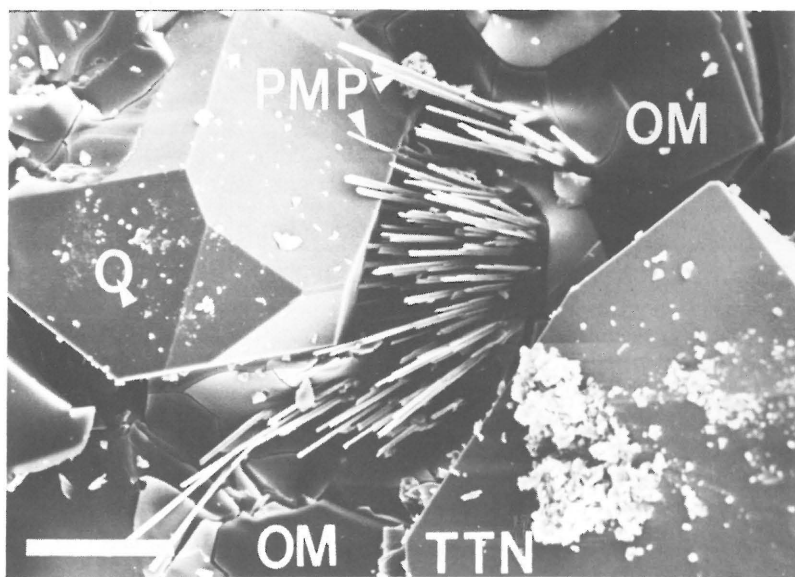
1) obecność dotychczas nierozpoznanych ciał intruzywnych w podłożu monokliny przedsudeckiej; taka hipoteza nawiązuje do zmian permokarbońskich skał klastycznych z północno-wschodniej części basenu Niemiec, które są interpretowane jako metamorficzne (pik metamorficzny ok. 300°C, 3 kbar), spowodowane przez postkinematyczne intruzje granitowe (Hoth i in., 1995),

2) uwolnienie ciepła podczas egzotermicznych procesów hydratacji takich składni-

ków skał wyjściowych jak pirokseny, oliwiny i szkliwo; za taką hipotezą przemawia chaotyczne rozmieszczenie w różnym stopniu zmienionych skał z okolic Gorzowa Wielkopolskiego, co sugeruje penetrację szczelinami spękań wody morskiej do skał wulkanicznych.

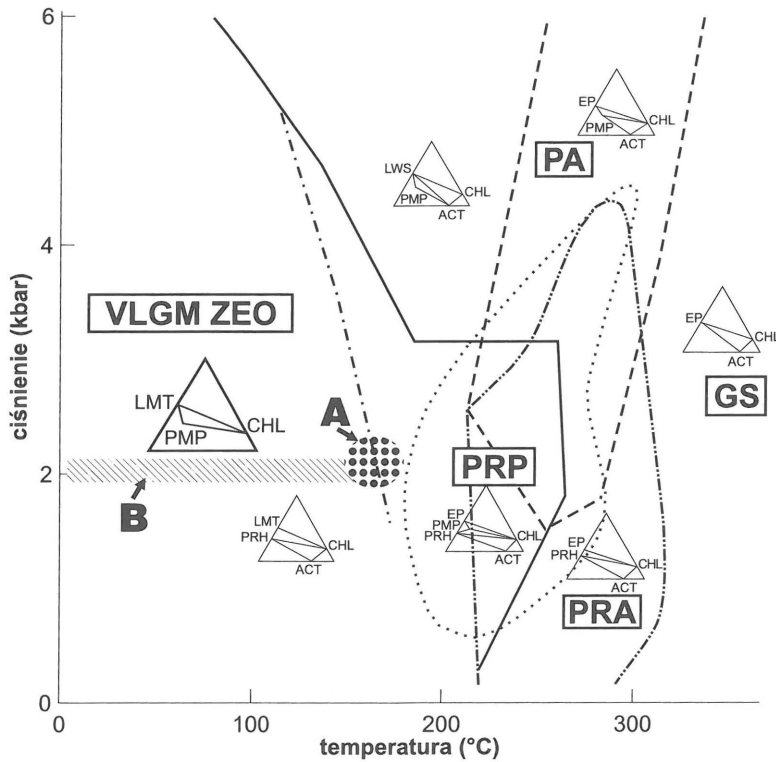
Skala zmian metasomatycznych w większości badanych skał, analogiczna do zmian opisanych przez Harpera i in. (1995), wskazuje, że stosunek woda/skała powinien sięgać kilku tysięcy. Tak duży dopływ wody do głębokości ok. 7 km, odpowiadającej obserwowanym ciśnieniom, jest mało prawdopodobny. Przypuszczalnie metamorfizm został zainicjowany wówczas, gdy miąższość nadkładu skał wulkanicznych nie przekraczała 3 km i był możliwy bezpośredni kontakt skał wulkanicznych z wodami otwartego zbiornika morskiego. Zatem obecny zespół mineralny należy uważać za produkt metamorfizmu progresywnego nałożonego na wcześniejszą asocjację, powstałą na niewielkiej głębokości. Obecność bituminów w metabazytach można przypisać uwolnieniu substancji organicznej z serii zmetamorfizowanych osadów, które podścielają zespół zmienionych skał wylewnych. Obszarem alimentacyjnym dla węglowodorów były zatem starsze od skał wulkanicznych osady karbońskie (Czechowski & Piela, 1997).

Według rozważań autorów dotychczas nie notowano w polskiej części monokliny przedsudeckiej skał zawierających zespoły mineralne typomorficzne dla VLGM. Na obszarze wschodniej Brandenburgii stwierdzono permskie skały metawulkaniczne zmienione zarówno w warunkach VLGM, jak i facji zieleńcowej (Huebscher, 1995). Zdaniem autorów jest to ten sam typ metamorfizmu regionalnego, który stwierdzono w metawulkanitach okolic Gorzowa



Ryc. 10. Przerost asfaltytu (OM) z pumpellyitem w migdale; Q — kwarc, TTN — tytanit; Namyślin 1 3226 m; zdjęcie SEM, fot. E. Fila, skala odpowiada 50 m

Fig. 10. Asphaltite (OM) — pumpellyite (PMP) intergrowth in amygdale; Q — quartz, TTN — titanite, Namyślin 1 3226m; SEM photo by E. Fila, scale bar denotes 50 m



Ryc. 11. Pola stabilności i zakresy ciśnień i temperatur facji metamorficznych niskiego stopnia dla metabazytów (według Freya i in., 1991, zmieniony); A — zakres pT procesów metamorficznych w zmetamorfizowanych zasadowych skałach wulkanicznych z Gorzowa Wielkopolskiego; B — strefa przejściowa występowania paragenez prehnit-aktynolit-chloryt-laumontyt i chloryt-pumpellyit-laumontyt; objaśnienia skrótów facji metamorficznych: GS — facja zielenicowa, PA — facja pumpellyitowo-aktynolitowa, PRA — facja prehnitowo-aktynolitowa, PRP — pole trwałości paragenazy prehnit-pumpellyit, ZEO — VLGM (facja zeolitowa); objaśnienia skrótów minerałów: ACT — aktynolit, CHL — chloryt, EP — epidot, LWS — lawsonit, LMT — laumontyt, PMP — pumpellyit, PRH — prehnit; granice poszczególnych facji zaznaczono różnymi rodzajami linii

Fig. 11. Stability fields and pressure-temperature ranges of low-grade metamorphic facies of metabasites showing mineral stabilities and ranges of metamorphic facies (adapted from Frey et al., 1991, modified); A — pT-range of metamorphic processes in basic metavolcanic rocks from Gorzów Wielkopolski; B - transitional zone of prehnite-actinolite-chlorite-laumontite and chlorite-pumpellyite-laumontite assemblages; of metamorphic facies abbreviations: GS — greenschist facies, PA — pumpellyite-actinolite facies, PRA — prehnite-actinolite facies, PRP — boundaries for the prehnite-pumpellyite paragenesis, ZEO — VLGM (zeolite facies); minerals abbreviations: ACT — actinolite, CHL — chlorite, EP — epidote, LWS — lawsonite, LMT — laumontite, PMP — pumpellyite, PRH — prehnite; different line types show metamorphic facies boundaries

Wielkopolskiego. Przepuszczalnie metamorfizmu ten jest bardziej powszechny. W skałach wylewnych o innym składzie chemicznym (np. w dacytach czy w ryolitach) oraz w skałach osadowych typu iłowców, wák, arenitów w analogicznych warunkach rozwijają się takie minerały jak seladonit, chloryt, illit czy kaolinit (np. Miyashiro, 1973; Rahn i in., 1994). Podobne zespoły mineralne mogą powstawać w wyniku procesów pomagmowych i diagenetycznych, co utrudnia wyciągnięcie jednoznacznych wniosków na temat udziału procesów metamorficznych w ich ewolucji geologicznej.

Autorzy pragną podziękować mgr Kazimierzowi Dyjaczynie-

skiemu za udostępnienie materiału do badań oraz mgr Markowi Hoffmanowi — dyrektorowi Biura Geologicznego GEO-NAFTA w Warszawie, za możliwość nieodpłatnego skorzystania z mikrosondy elektronowej. Chcielibyśmy wyrazić wdzięczność mgr Ewie Fili i mgr Markowi Wróblowi za pomoc w trakcie badań mikrosondowych. Bardzo cenimy wkład pracy pana Jarosława Milewskiego i pani Krystyny Świętochowskiej. Anonimowemu recenzentowi dziękujemy za krytyczne uwagi. Badania były sponsorowane przez Komitet Badań Naukowych (grant 6 P04D 014 09).

Literatura

- BEIERSDORFER R. E. & DAY H. W. 1995 — [W:] Low-Grade Metamorphism of Mafic Rocks, red. P. Schiffman & H. W. Day, Geol. Soc. Amer. Spec. Pap. 296: 5–27.
- BUCHER K. & FREY M. 1994 — Petrogenesis of Metamorphic Rocks. 6th Edition Complete Revision of Winkler Textbook, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York-London-Paris-Tokyo-Hong Kong-Barcelona-Budapest: 1–319.
- CZECHOWSKI F. & PIELA J. (1997) — Nafta (w druku).
- FREY M., CAPITANIC & LIU J. G. 1991 — J. Metamorph. Geol., 9: 497–509.
- HARPER G. D. 1995 — [W:] Low-Grade Metamorphism of Mafic Rocks, eds. P. Schiffman & H. W. Day, Geol. Soc. Amer. Spec. Pap. 296, 101–122.
- HEFLIK W. 1965 — Bull. Acad. Pol. Sc., sér. sc. géol. géogr. 13: 261–266.
- G. R., BREW D. A. & FORD A. B. 1995 — [W:] Low-Grade Metamorphism of Mafic Rocks, eds. P. Schiffman & H. W. Day, Geol. Soc. Amer. Spec. Pap. 296: 51–66.
- HOTH P., LÜDERS & FRIEDEL C.-H. 1995 — Terra Nostra 7: 58–6.
- HUEBSCHER H.-D. 1995 — Terra Nostra, 7: 63–66.
- ISHIZUKA H. 1991 — Contrib. Mineral. Petrol., 107: 1–7.
- JACKOWICZ E. 1991 — Permskie skały wulkaniczne północnej części monokliny przedsudeckiej, Arch. IGMiP, Wyd. Geol. UW.
- KŁAPCINIŃSKI J., JUROSZEK C. & SACHANBIŃSKI M. 1988 — Acta Universitatis Wratislaviensis, 875, Pr. Geol.-Miner., 46: 3–31.
- KRYZA R. 1993 — Pr. Geol.-Miner., Wyd. Uniw. Wrocław., 39: 1–139.
- LIU J. G. & ERNST W. G. 1979 — Contrib. Mineral. Petrol., 68: 335–348.
- MIYASHIRO A. 1973 — Metamorphism and Metamorphic Belts, A. Allen & Unwin: 1–492.
- PROTAS A., BIERNACKA J., MUSZYŃSKI A., WOJEWODA J., ZIÓLKOWSKA-KOZDRÓJ M. 1995 — Pozycja geologiczna i petrologia kompleksu wulkanogenicznego permu podłoża Pomorza Zachodniego (na podstawie utworów wiertniczych), opracowanie niepublikowane, Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Poznań.
- RAHN M., MULLIS J., ERDELBRÖCK K. & FREY M. 1994 — J. metamorph. Geol., 12: 625–641.
- RYKA W. 1981 — [W:] International Symposium „Central European Permian”, Warsaw 1978, Geological Institute, Warsaw: 165–179.
- SIEMASZKO E. 1978 — Kwart. Geol., 22: 571–584.
- SPECZIK S. & RYDZEWSKI A. 1983 — Arch. Miner., 39: 79–91.