

Metamorfní reakce epidotu v žilách alpského typu na granát-anortitové symplektity: Markovice, kutnohorské krystalinikum

Metamorphic reaction of epidote in Alpine-type veins to garnet-anorthite symplectites: Markovice, Kutná Hora Unit (Bohemian Massif)

STANISLAV VRÁNA^{1)*}, VOJTĚCH JANOUŠEK^{1,2)}, ALEŠ LACIOK³⁾, PATRICIE HALODOVÁ¹⁾ A LUBOR ŽÁK[†]

¹⁾Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1; *e-mail: stanislav.vrana@geology.cz

²⁾Ústav petrologie a strukturní geologie, Univerzita Karlova, Albertov 6, 128 43 Praha 2

³⁾ČEZ, a.s., Duhová 1, 140 00 Praha 4

VRÁNA S., JANOUŠEK V., LACIOK A., HALODOVÁ P., ŽÁK L. (2016) Metamorfní reakce epidotu v žilách alpského typu na granát-anortitové symplektity: Markovice, kutnohorské krystalinikum. *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha) 24*, 2, 224-229. ISSN 1211-0329.

Abstract

Amphibolite quarry at Markovice near Čáslav, eastern Bohemia, is known as an important mineral locality producing high-quality mineral specimens for more than 100 years. Mineral assemblages feature dominantly Alpine-type minerals. A student study by V. Janoušek and A. Laciok in 1988, guided by the late Professor L. Žák, dealt mainly with epidote-group minerals. Above all, the study provided detailed characteristics of garnet-anorthite symplectite formed by destabilization of clinozoisite-epidote. The symplectites often preserve outer crystal shapes of the original clinozoisite-epidote crystals. Minor relics in the symplectite show that the original clinozoisite-epidote contained 8 - 9 wt. % Fe₂O₃. The reaction $Ep \rightarrow Grt + An (+ O, H_2O)$ at $T \approx 600$ °C involved important Fe reduction, as the resulting garnet contains Alm 39.3, Adr 4.2, Grs 48.9, Prp 4.8, Sps 2.3, Uv 0.5 (mol. %). It is suggested that the geological and metamorphic evolution of the local amphibolites of the Kutná Hora Crystalline Unit included the following stages: 1) the older regional metamorphism that was instrumental in alteration of mafic volcanics and tuffs into amphibolite, 2) the brittle deformation, extension and fluid activity resulted in fractures with druses of clinozoisite-epidote, 3) in the course of a younger metamorphic event, the clinozoisite-epidote reacted under reducing conditions and its dehydration led to the formation of the studied garnet-anorthite symplectites, 4) later on, already at shallow crustal levels, late-Variscan, low-temperature fluids brought about crystallization of zeolites and hydrated silicates. The temporal sequence of processes is interpreted in terms of a polymetamorphic history of the host Kutná Hora Crystalline Unit. A repeated find of garnet-plagioclase symplectites replacing epidote crystal clusters in 2005 prompted preparation of this paper.

Key words: epidote, garnet symplectite, Alpine-type paragenesis, amphibolite-facies metamorphism, Kutná Hora Unit, Bohemian Massif, Variscan

Obdrženo: 21. 9. 2016; *přijato:* 4. 12. 2016

Úvod

Kamenolom v Markovicích u Čáslavi je klasickou lokalitou minerálů alpské paragenese. Význam této lokality se postupně zvyšoval v průběhu více než 100 let těžby, sběrů a studia estetických minerálů, zejména zeolitů, krystalizovaných v dutinách místního amfibolitu (Kratochvíl 1961). Postupující těžba zastihla různé typy minerální výplně, od krystalů křišťálu s vláknitým amfibolem, titanitem a albitem, přes ledvinité agregáty prehnitu s narostlými krystaly analcimu, kalcitu nebo drobného datolitu, kalcit-laumontitové žily, až po dosti vzácné žily s natrolitem. Příklady těchto minerálních asociací jsou na obrázku 1; další fotografickou dokumentaci je možné nalézt na různých webových stránkách sběratelů minerálů. Charakteristice minerálů nalezených v lomu Markovice bylo věnováno velké množství článků, z nichž lze zmínit práce Kratochvíla (1911), Kratochvíla (1941) a Růžičky (1946, 1947).

Variabilita minerálních asociací snad podporuje myšlenku o významu relativních svislých pohybů segmentů hornin podél zlomů příslušejících k železnohorskému zlomovému pásmu. To by mohlo vysvětlit známou mineralogickou pestrost asociací (Tesař 2010a-c). Minerály alpské paragenese krystalizovaly na trhlinách z nízké až středně temperovaných fluid odhadovaných v širším regionálním kontextu na 360 - 100 °C (Bernard 1981, Fišera 2000).

Asociaci granátu s klinozoisitem a epidotem v Markovicích zmínilo několik autorů (Kratochvíl 1961), avšak stručné poznámky nevysvětlovaly podrobněji vztahy mezi granátem a epidotem.

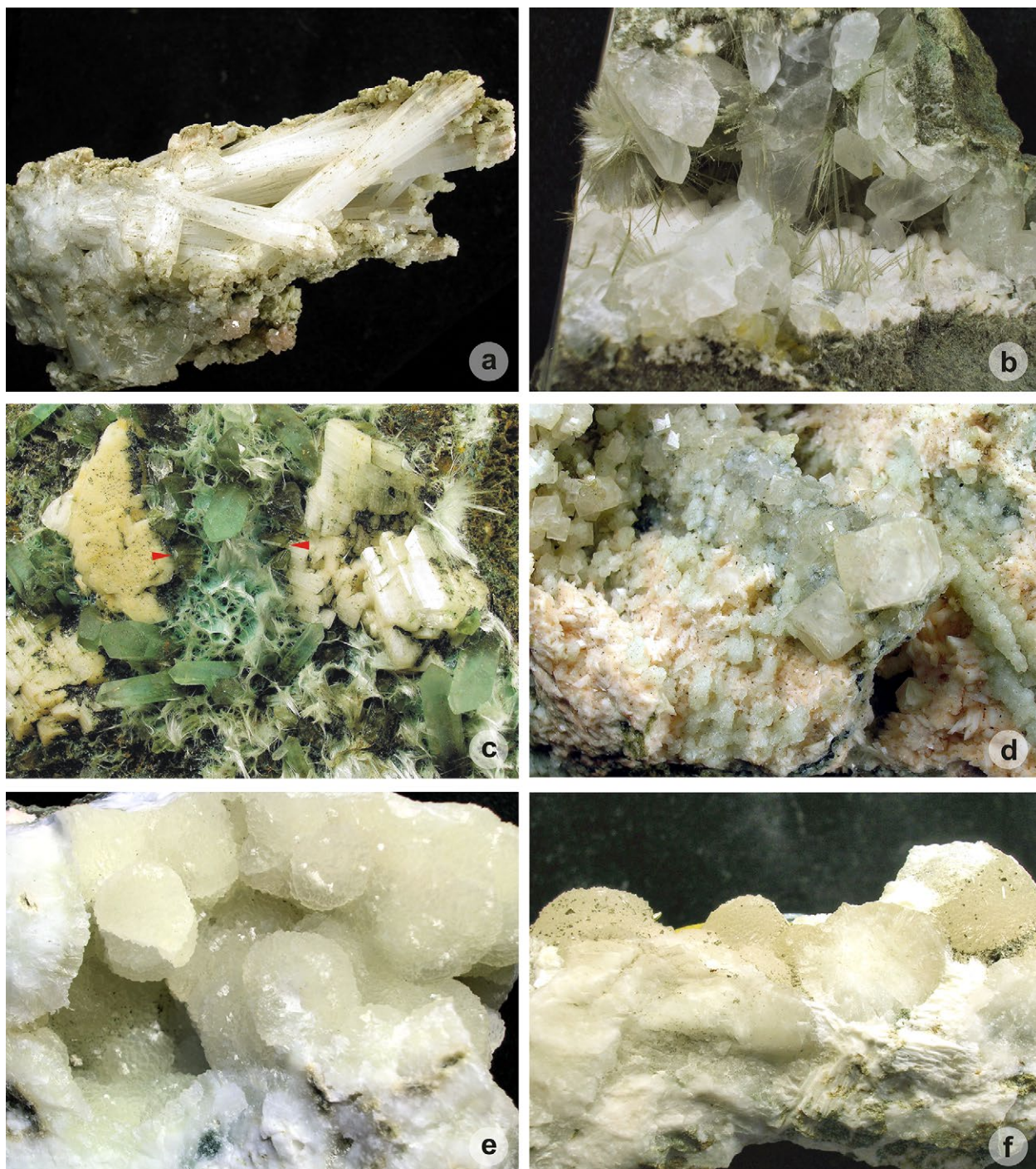
Studentská práce Janouška a Lacioka (1988), vypracovaná pod vedením profesora Lubora Žáka (1925 - 2008), poprvé dokumentovala výskyt prizmatických pseudomorfů granátu a anortitu po epidotu, uzavřených v agregátech bílého kalcitu (obr. 2a,b) z lomu v Markovicích. Práce zahrnovala data optické mikroskopie, práš-

kové rentgenové difrakční identifikace několika minerálů a analýzy minerálů pomocí energiově disperzní rentgenové spektroskopie. Studované pseudomorfozy, až 5 cm dlouhé, mají prizmatický tvar zděděný po epidotu a červenošedé nebo růžové zbarvení způsobené drobným granátem v granát-anortitovém symplektitu (obr. 3). Autoři studentské práce navštívili markovický lom v roce 1987 několikrát a pořídili seznam 39 druhů minerálů.

Minerál epidotové skupiny přeměněný v granát-anortitový symplektit má ve skutečnosti složení v okolí kla-

sifikační hranice mezi klnozoisitem a epidotem se 7 - 8 hm. % Fe_2O_3 , (Armbruster et al. 2006), jak vykazují relikty klnozoisit-epidotu v jádrech symplektitů (obr. 3). Protože klnozoisit chudý Fe by nemohl produkovat granát bohatý Fe, používáme v textu pro jednoduchost označení epidot místo klnozoisit-epidot.

Jak je ukázáno níže, nečekaně složitá historie vývoje paragenezí alpského typu v Markovicích má důležité geotektonické implikace, protože ukazuje na polymetamorfní historii kutnohorského krystalinika během variské orogeneze.



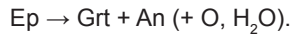
Obr. 1 Příklady minerálních asociací alpské parageneze z kamenolomu v Markovicích. **a** - natrolit; šířka snímku 7 cm; **b** - křišťál a vláknitý amfibol narostlé na krystalech albitu; šířka 7 cm; **c** - albit, křemen, plstnatý byssolit (aktinolitický asbest) a drobný titanit, vyznačený červenými šipkami; šířka 45 mm; **d** - klence kalcitu na laumontitu a prehnitu; šířka 5 cm; **e** - kulovité agregáty prehnitu; šířka 5.5 cm; **f** - kulovité agregáty prehnitu s popraškem velmi drobných krystalů pyritu, částečně překryté dehydratovaným laumontitem; šířka plochy 5 cm. Foto S. Vrána.

Geologická situace

Markovice náleží k významné skupině lokalit minerálů alpské paragenese v regionu Kutná Hora - Čáslav s přesahy do středních a východních Čech (např. Litochleb 1996; Fišera 2000). Prostorová distribuce lokalit je vázaná na struktury směru SZ - JV, odpovídající labskému lineamentu a železnohorskému zlomovému pásmu. Lokality se vyskytují zejména v kutnohorské jednotce, při sv. periférii moldanubika (Synek, Oliveriová 1993; Pertoldová et al. 2010).

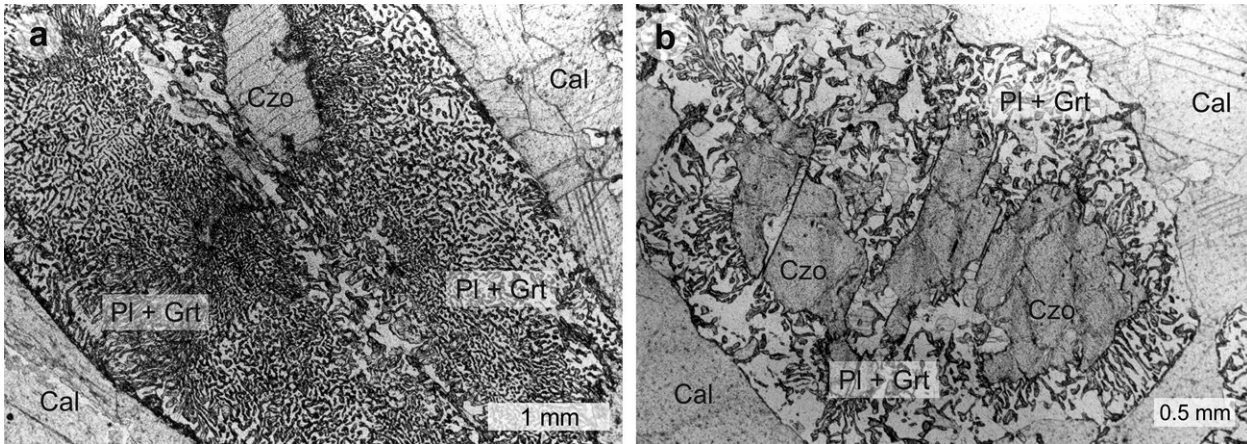
Studované vzorky

Vzorky granát-anortitového symplektitu, které studovali Janoušek a Laciok (1988), obsahují příklady reakce epidotu v podmínkách blízcích se uzavřenému systému, avšak zahrnující redukci Fe^{3+} na dominantní Fe^{2+} a dehydrataci. Zachování prizmatických obrysů původního epidotu při reakci na granát-anortitový symplektit uvnitř kalcit-andezínové žiloviny umožnilo studovat téměř izochemickou reakci:



Obrázky 2a,b z původní práce dokumentují vnitřní jemnozrnou strukturu symplektitu, relikty původního epidotu a okolní kalcit. Zmíněný typ prizmatických pseudomorfóz granátu a anortitu po epidotu ve své ideální formě se v posledních letech buď nevyskytoval nebo byl příliš vzácný. Je proto mimořádně cenné, že se některé vzorky z roku 1988 zachovaly a mohly být využité v této studii. Dva vzorky byly nově označeny BD344 a BD345. Fotografie posledně uvedeného vzorku je na obrázku 3.

Neméně důležitý byl nový nález granát-plagioklasového symplektitu v roce 2005 v podobě prizmatických agregátů zachovávajících původní obrysy krystalů epidotu (obr. 4, BD343). Vzorek slouží jako doklad, že se granát-plagioklasové pseudomorfózy po epidotu v Markovicích nadále nacházejí a dal podnět k této práci. V další části uvádíme analýzy minerálů i z tohoto vzorku, který se však vyvíjel v částečně otevřeném systému, jak dokládá přítomnost oligoklasu i vzácnějšího muskovitu.



Obr. 2 a - Granát-anortitový symplektit vzniklý přeměnou původního krystalu klinozoisit-epidotu, zachovaného v podobě reliktu uprostřed nahoře (Czo). Po stranách jsou agregáty kalcitu (Cal). **b** - Granát-anortitový symplektit vzniklý přeměnou původního krystalu klinozoisit-epidotu, zachovaného v podobě velkého reliktu uprostřed. Jde o přibližně příčný řez epidotu. Po stranách jsou agregáty kalcitu. Obě mikrofotografie v plošně polarizovaném světle pořídil L. Žák, mírně upraveno.



Obr. 3 Vzorek BD345. Červenavý prizmatický útvar dlouhý 8 mm, tvořený granát-anortitovým symplektitem, avšak s prizmatickým omezením původního epidotu, je obklopený bílým kalcitem. Granulární mozaika symplektitu je odkrytá při dolním okraji. Foto S. Vrána.



Obr. 4 Vzorek BD343 obsahující granát-plagioklasový symplektit v podobě prizmatických agregátů, zachovávajících původní tvar krystalů epidotu, s minoritním kalcitem nahoře a vlevo. Šířka vzorku 7.5 cm. Foto S. Vrána.

Metodika výzkumu

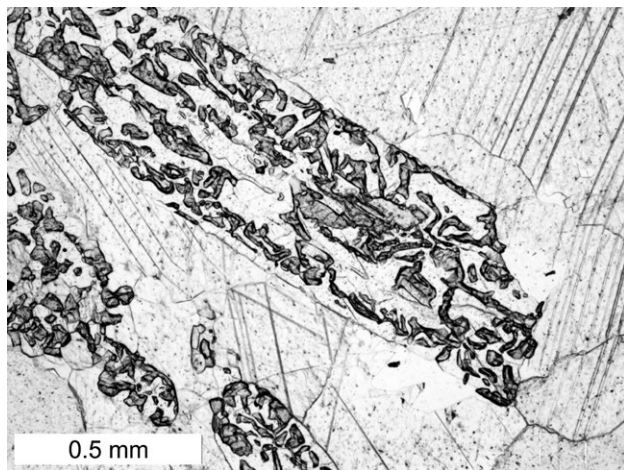
Modální analýza symplektitu ve vzorku BD345 byla provedená s pomocí FEG-SEM mikroskopu Tescan MIR3GMU vybaveného SDD X-MaxN 80 mm² EDS detektorem a zpracovatelským softwarem AZtecEnergy AutoPhaseMap (Oxford Instruments) v laboratořích České geologické služby v Praze na Barrandově. Analyzovány byly dvě vybrané plochy, 1100 × 855 μm a 1370 × 1000 μm. Pro každou z nich byla pořízena EDS mapa při zvětšení 133 a 177× s rozlišením 2048 × 2048 pixelů. Urychlovací napětí bylo 7 kV, pracovní vzdálenost 15 mm, a v každém pixelu načteno 120 pulzů. Tyto podmínky umožnily dokonalou identifikaci minerálů a výpočet jejich procentního zastoupení.

Další analýzy minerálů byly pořízeny elektronovou mikrosondou CAMECA SX 100 vlnově disperzními spektrometry ve společné laboratoři elektronové mikroskopie a mikroanalýzy na Fakultě geologických věd Masarykovy university a České geologické služby v Brně. Analytické podmínky byly zvoleny podle analyzovaného minerálu, typicky při urychlovacím napětí 15 kV, proudu na vzorku 10 - 20 nA a čase 10 - 30 s. Použité standardy zahrnovaly spessartin (Si, Mn), sanidin (Al, K), almandin (Fe), amfibol (Ti), andradit (Ca), MgAl₂O₄ (Mg), albit (Na), fluorapatit (P) a chromit (Cr). Naměřená data byla upravena pomocí PAP matrix korekcí (Pouchou, Pichoir 1985). Zkratky názvů minerálů vycházejí ze seznamu, který publikovali Whitney a Evans (2010).

Chemismus minerálů

Na obrázku 5 je mikrofotografie pseudomorfózy č. 4 (vzorek BD343) po epidotu tak, jak je patrná v běžném optickém mikroskopu. Obrázek 6a,b dokumentuje dvě pseudomorfózy analyzované elektronovým mikroskopem Tescan MIRA za účelem pořízení planimetrických analýz. Pozadí zobrazené jako černá plocha tvoří ve skutečnosti agregáty kalcitu.

Chemické složení minerálů pořízené mikrosondou z pseudomorfózy č. 4 na obrázku 5 je v tabulce 1. Granát obsahuje následující hlavní komponenty (v mol. %): Alm 39.3, Adr 4.2, Grs 48.9, Prp 4.8, Sps 2.3, Uv 0.5. Tyto hodnoty znamenají, že jde o grosulár-almandinový granát s podružnými příměsmi. Plagioklas je anortit s minimál-

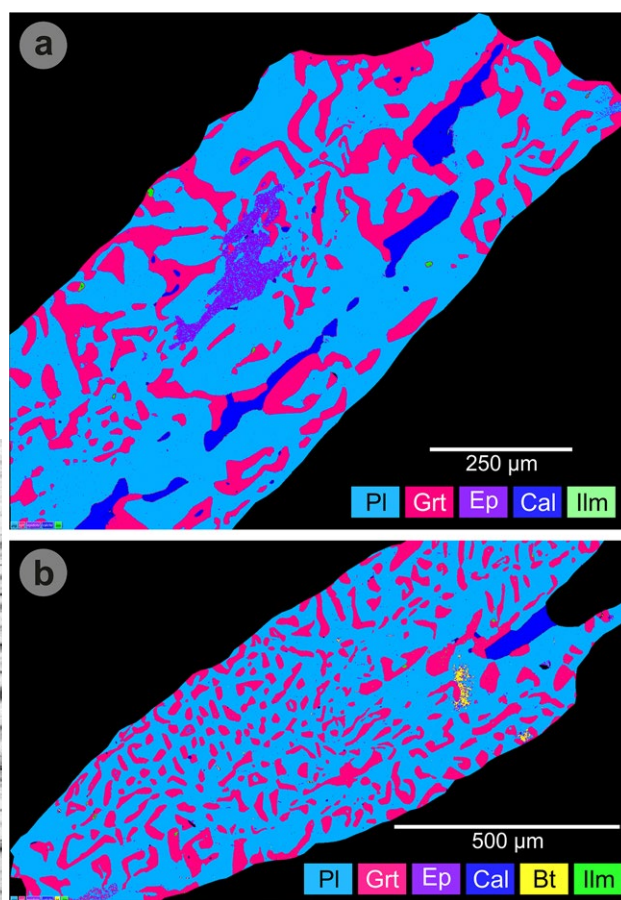


Obr. 5 Pseudomorfóza č. 4 (vzorek BD344), tvořená granátem, anortitem, drobným kalcitem a reliktů epidotu, je obklopená kalcitem. Mikrofotografie v plošně polarizovaném světle. Foto S. Vrána.

Tabulka 1 Chemické složení minerálů a jejich objemové zastoupení v pseudomorfóze č. 4 (vzorek BD343) (hm. %)

	Pl 113	Grt 114	Cal 115	Ep 111	„Mix“
SiO ₂	42.79	38.40		38.00	39.74
TiO ₂		0.24		0.38	0.01
Al ₂ O ₃	35.91	20.47		27.73	29.81
Cr ₂ O ₃		0.15			
V ₂ O ₃					
Fe ₂ O ₃				6.88	
FeO	0.24	20.06	0.95		6.13
MnO		1.01	0.18	0.16	0.30
MgO		1.23	0.50		0.35
ZnO					
CaO	19.61	19.00	50.10	23.40	21.09
Na ₂ O	0.21				0.13
K ₂ O					
F					
Suma	98.76	100.56		96.55	97.56

* „Mix“ v posledním sloupci je kontrolně spočtené složení celé pseudomorfózy (hm. %) s využitím analýz minerálů a modálního zastoupení minerálů (obj. %): Pl 64.0, Grt 26.1, Cal 4.6 and Ep 4.7 (srv. obr. 6) (přes hodnoty hustot minerálů)



Obr. 6 a - Pseudomorfóza č. 4 (vzorek BD344). Planimetrická analýza symplektitu pořízená elektronovým mikroskopem Tescan MIRA. **b -** Pseudomorfóza č. 3 (vzorek BD344). Autorka P. Halodová.

ním obsahem 2 mol. % albitu. Složení epidotu charakterizuje obsah 6.88 hm. % Fe_2O_3 . Kalcit obsahuje jen malé příměsi Fe, Mg a Mn.

Porovnání hodnot posledního sloupce („Mix“) v tabulce 1 s analýzou epidotu č. 111, (tj. reliktu, který unikl přeměně na granát a anortit), je vyjádřením téměř izochemické povahy vzniku tohoto symplektitu. Redukce většiny Fe^{3+} na Fe^{2+} a dehydratace znamenají mírný odklon od izochemického rázu přeměny. Podobné výsledky poskytla také analýza pseudomorfozy č. 3 (obr. 6b).

Minerály ve vzorku BD343 byly analyzované mikroskopem CAMECA SX 100 (tab. 2). Vzorek obsahuje poměrně velké reliktní partie epidotu, avšak přeměna probíhala do značné míry v otevřeném systému, za přínosu Na, K a S. V důsledku toho se významně uplatnil sodný plagioklas, akcesorický muskovit a sulfidy. Naproti tomu

granát má složení připomínající stejný minerál jako ve vzorku BD345 (tab. 1).

Diskuse a závěry

Experimentální data za podmínek Ni-NiO pufru prokazují průběh reakce epidotu Ps_{25} na granát + anortit + magnetit + fluid při $T = \sim 560^\circ\text{C}$ (Deer et al. 1997). Výskyt lokální asociace Grt + Pl + Amp ve vzorku BD345 by snad mohl umožnit výpočet teploty reakce pomocí granát-amfibolové geotermometrie (Krogh 2000). Avšak termometr byl kalibrován pro bazické a intermediární horniny, kdežto studovaná paragenese je posunuta do složení extrémně bohatých Ca a Fe. Amfibol je neobvyklý „draselný-železnatý pargasit“ (potassian-ferroan pargasite *sensu* Leake et al. 1997) s obsahem 2.1 - 2.3 hm. % K_2O . Význam vypočtené hodnoty 763°C je proto nejistý. Nicméně výše uvedené odkazy na experimentální práce nasvědčují podmínkám spodní části amfibolitové facie pro vznik Grt + An symplektitu z epidotu obsahujícího 7 - 8 hm. % Fe_2O_3 .

Značná velikost (dnes pseudomorfovaných) krystalů epidotu, jejich idiomorfni vývoj a obklopení kalcitem (obr. 2 - 5) ukazují, že původní epidotové drůzy byly součástí mineralizace typu alpské paragenese. Vzhledem k teplotním podmínkám vzniku granát-anortitového symplektitu z epidotu (cca 600°C), nezbývá než považovat jak krystalizaci původního epidotu, tak i jeho reakci na granát-anortitový symplektit, za události starší než vznik nízkoteplotních minerálů alpské paragenese v obvyklém významu.

Až do současnosti zůstala mimo úvahy možnost, že granát-anortitové symplektity, vzniklé reakcí epidotu, svědčí o uplatnění metamorfických podmínek amfibolitové facie v době po vykrystalizování drůz epidotu. Relativně vysokoteplotní reakce epidotu na granát-anortitový symplektit tedy odděluje uvedené dvě epizody vzniku alpské paragenese a vyznačuje také režim intenzivní redukce Fe^{3+} v epidotu na zcela převládající Fe^{2+} v grosulár-almandinovém granátu s nízkým podílem andraditu. Vzniká tak otázka uplatnění dvou epizod středně temperovaných podmínek metamorfózy (amfibolitová facie), oddělených aktem křehké deformace, vznikem trhlin a růstem idiomorfni krystalů epidotu.

Geologický a metamorfni vývoj místních amfibolitů zahrnoval tedy tyto události: 1) starší metamorfóza vedla k přeměně původních bazických vulkanitů nebo jejich tufů v amfibolity, 2) v následně otevřených trhlinách krystalizoval klinozoisit-epidot (často s obsahem cca 7 - 8 hm. % Fe_2O_3), 3) při mladší metamorfóze došlo k reakci klinozoisit-epidotu na granát-anortitové symplektity, redukcí většiny Fe^{3+} v epidotu na Fe^{2+} vázané v gra-

Tabulka 2 Analýzy minerálů granát-plagioklasového symplektitu, vzorek BD343 (hm. % a apfu)

minerál	Ep 23	Grt 25	Pl 27	Ms 29	Cal 24
SiO_2	38.48	38.54	65.24	46.60	0.06
TiO_2	0.09	0.10	0.00	0.00	
Al_2O_3	27.40	20.27	22.29	37.30	
Cr_2O_3	0.06	0.07	0.00	0.00	
V_2O_3	0.07	0.16			
Fe_2O_3	7.96	1.79			
FeO		16.08	0.19	0.29	0.73
MnO	0.24	0.92	0.00	0.00	0.07
MgO	0.04	0.73	0.00	0.00	0.16
ZnO	0.06				0.20
CaO	23.94	21.99	3.20	0.08	55.02
SrO	0.00		0.00	0.00	0.06
Na_2O	0.01		10.16	0.08	0.01
K_2O	0.01		0.29	11.21	
F	0.12	0.06			
Suma	98.48	100.71	101.37	95.56	
Počet iontů na základě	13 O	12 O	8 O	12 (O,OH)	
Si	2.992	3.002	2.832	6.150	
Al^{iv}		0.000	1.141	1.850	
Al^{vi}	2.511	1.869		3.952	
Ti	0.005	0.006	0.000	0.000	
Cr	0.004	0.004	0.000	0.000	
Fe^{3+}	0.466	0.105	0.007		
V^{3+}	0.005				
Fe^{2+}		1.048	0.000	0.031	
Mn^{3+}	0.016				
Mn^{2+}		0.061	0.000	0.000	
Mg	0.005	0.085	0.000	0.000	
Ca	1.994	1.835	0.149	0.011	
Na			0.855	0.020	
K			0.016	1.887	
(OH)*	1.012			4.000	
Suma	9.010	8.015	5.000	17.903	
$P_s = 100 \times \text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+} + \text{Al})$	15.65				
Almandin		33.0			
Andradit		5.3			
Grosulár		56.6			
Pyrop		2.9			
Spessartin		2.1			
Uvarovit		0.2			

P_2O_5 : Ep 0.03 - 0.07, Grt 0.02, Pl 0.00 ; (OH)* předpokládaný obsah H_2O v epi-dotu 1.95 hm. %.

nátu a dehydrataci, a konečně 4) v mělkých korových podmínkách došlo ke vzniku četných otevřených trhlin a krystalizaci minerálů pozdní nízkoteplotní parageneze alpského typu, s účastí zeolitů a hydratovaných silikátů. Tyto vztahy mohou být interpretovány v kontextu polymetamorfni historie kutnohorského krystalinika.

Nečekaně složitá historie vývoje paragenezí alpského typu v Markovicích tak získává možný potenciál kritéria polymetamorfni historie kutnohorského krystalinika. Nejde o jedinou indikaci tohoto druhu. Kutnohorské krystalinikum jako jednotku odlišnou od moldanubika interpretovali již Koutek (1933); Synek, Oliveriová (1993); Pertoldová et al. (2010) a jako jednotku s pravděpodobným záznamem paleovariské orogeneze před procesy neovariské orogeneze například Vrána (2008), Vrána et al. (2009) a Nahodilová et al. (2011).

Terminologická informace

Popisované granát-anortitové symplektity mají červenavé, někdy i růžové zbarvení. Je proto účelné vymezit tento materiál vůči růžovému klinozoisitu z Markovic, který je v posledních letech nabízen na burzách jako zoisit - thulit, tedy kosočtverečný minerál se zvýšeným obsahem Mn_2O_3 . Růžový klinozoisit charakterizovali rentgenovou práškovou difrakcí a stanovením obsahu 1.6 hm. % Fe_2O_3 Janoušek a Laciok (1988). Identifikovali také obyčejný, masivní zoisit s růžovým zbarvením, avšak překvapivě nízkým obsahem Mn.

Vzhledem ke špatné dostupnosti studentských prací se tyto informace nedostaly do širšího okruhu mineralogů a sběratelů minerálů. Další vzorek růžového klinozoisitu z Markovic, zakoupený na burze jako „zoisit - thulit“, byl nově analyzován na mikrosondě Cameca. Obsah manganu v růžovém minerálu je pouze 0.04 - 0.10 hm. % MnO, obsah Fe_2O_3 je 2.61 - 3.12 hm. %. Optické vlastnosti tohoto minerálu ve výbruse odpovídají klinozoisitu. Vzhledem k uvedeným informacím je zřejmé, že výskyt zoisitu - thulitu nebyl v Markovicích prokázán. Příčiny růžového zbarvení klinozoisitu z Markovic by mohly být zjištěny metodami optické spektroskopie, které se používají v laboratořích pro studium zbarvení drahokamů.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl díky finanční podpoře interního úkolu České geologické služby č. 321181. Autoři děkují recenzentům S. Houzarovi a R. Skálovi, jakož i šéfredaktorovi J. Sejkorovi, za podnětné připomínky k rukopisu. Tento článek je věnován památce prof. Lubora Žáka, skvělého mineraloga, a přitom skromného a morálně pevného člověka (zemřel 6. srpna 2008 v Praze).

Literatura

- Ambruster T., Bonazzi P., Akasaka M., Bermanec V., Chopin C., Gieré R., Heuss-Assbichler S., Liebischer A., Menchetti S., Pan Y., Pasero M. (2006) Recommended nomenclature of epidote-group minerals. *Eur. J. Mineral.* 18, 551-567.
- Bernard J. H. (1981) Minerály alpských žil a jim podobných asociací. In: Bernard J.H. (ed.) *Mineralogie Československa*, 405-419. *Academia, Praha*.
- Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. (1997) Rock-forming Minerals, vol. 1B Disilicates and Ring Silicates. 1-629, *Geological Society, London*.
- Fišera M. (2000) Alpská parageneze - klasifikace, typy a naleziště v České republice. *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 8, 23-40.
- Janoušek V., Laciok A. (1988) Žily se zoisitem, klinozoisitem a epidotem z amfibolitu v Markovicích na Čáslavsku. 1-48, *Nepublikovaná SVOČ práce, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Praha*.
- Koutek J. (1933) Geologie posázavského krystalinika I. *Věstník SGÚ*, 319-353.
- Kratochvíl F. (1941) Poznámky k několika novým výskytům nerostů na Kutnohorsku a na Táborsku. *Věda přírodní* 20, 183-185.
- Kratochvíl J. (1911) O nerostech okolí čáslavského. 41. *Výroč. Zpr. Klubu Přírod., Praha*.
- Kratochvíl J. (1961) Topografická mineralogie Čech IV (L-N). 1-384, *Nakladatelství ČSAV, Praha*.
- Krogh E. (2000) Distribution of Fe^{2+} and Mg between coexisting garnet and hornblende in synthetic and natural systems: an empirical calibration of the garnet-hornblende Fe-Mg geothermometer. *Lithos* 53, 265-277.
- Leake B. E., Woolley A. R., Arps C. E. S., Birch W. D., Gilbert M. C., Grice J. D., Hawthorne F. C., Kato A., Kisch H. J., Krivovichev V. G., Linthout K., Laird J., Mandarino J., Maresch W. V., Nickel E. H., Rock N. M. S., Schumacher J. C., Smith J. C., Stephenson N. C. N., Whittaker E. J. W., Youzhi G. (1997) Nomenclature of amphiboles: report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. *Mineral. Mag.* 61, 295-321.
- Litochleb J. (1996) Markovice a Horky u Čáslavi - klasické lokality zeolitů v alpských žilách. *Minerál* 4, 98-100.
- Nahodilová R., Faryad S. W., Dolejš D., Tropper P., Konzett J. (2011) High-pressure partial melting and melt loss in felsic granulites in the Kutná Hora Complex, Bohemian Massif (Czech Republic). *Lithos* 125, 641-658.
- Pertoldová J., Verner K., Vrána S., Buriánek D., Štědrá V., Vondrovic L. (2010) Comparison of lithology and tectonometamorphic evolution of units at northern margin of the Moldanubian Zone: implications for geodynamic evolution in the northeastern part of the Bohemian Massif. *J. Geosci.* 55, 299-319.
- Pouchou J. L., Pichoir F. (1985) "PAP"_(ρz) procedure for improved quantitative microanalysis. In: Armstrong JT (ed): *Microbeam Analysis*. 104-106, *San Francisco Press, San Francisco*.
- Růžička Č. (1946, 1947) Lomy a nerosty čáslavského okolí. *Podoubraví, Vlastiv. Sbor. Čáslavska* 15/4-5, 70-74, 108-112.
- Synek J., Oliveriová D. (1993) Terrane character of the north-east margin of the Moldanubian Zone: the Kutná Hora Crystalline Complex, Bohemian Massif. *Geol. Rundsch.* 82, 566-582.
- Tesař P. (2010a) Zpráva o nálezu natrolitu z lomu Markovice a Horky u Čáslavi. *Minerál* 18, 230-232.
- Tesař P. (2010b) Karbonáty v lomu Markovice. *Minerál* 18, 233-238.
- Tesař P. (2010c) Granáty v lomu Markovice. *Minerál* 18, 525-527.
- Vrána S. (2008) Mineral inclusions in pyrope from garnet peridotites, Kolín area, central Czech Republic. *J. Geosci.* 53, 17-30.
- Vrána S., Štědrá V., Nahodilová R. (2009) Geochemistry and petrology of high-pressure kyanite-garnet-albite-K-feldspar felsic gneisses and granulites from the Kutná Hora Complex, Bohemian Massif. *J. Geosci.* 54, 159-179.
- Whitney D. L., Evans B. W. (2010) Abbreviations for names of rock-forming minerals. *Amer. Miner.* 93, 185-187.