

PUMPELLYIT – MINERÁL ZÁVĚREČNÉ METAMORFNÍ FÁZE V BYTOWNITOVÉ RULE VRBENSKÉ SKUPINY A V AMFIBOLITU JESENICKÉHO MASIVU (SILEZIKUM)

Pumpellyite – product of final metamorphic phase in bytownite gneiss of Vrbno Group and amphibolite of Jeseník massif (Silesicum, Bohemian massif)

Martin Kováčik¹, Mojmír Opletal², Vratislav Pecina³, Vladimír Žáček⁴

¹ Česká geologická služba, Leitnerova 22, 658 69 Brno; e-mail: martin.kovacik@geology.cz

² Zdiměřická 1429/13, 149 00 Praha; e-mail: moja.opletal@seznam.cz

³ Česká geologická služba, Erbenova 348, 790 01 Jeseník; e-mail: vratislav.pecina@geology.cz

⁴ Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha; e-mail: vladimir.zacek@geology.cz

Key words: pumpellyite, retrograde metamorphism, sub-greenschist facies, Late Variscan, Silesicum

Abstract

Investigated pumpellyite formed due to favourable source material, anchimetamorphic condition and retrogressive reactions, connected with fluid input. Its existence extends the mineral spectrum of topographic mineralogy in the Moravo-Silesian rock-units. Not frequent, but symptomatic alteration products of bytownite in gneisses of Vrbno Group, represent fine leaflets of pumpellyite-(Al) and -(Fe), associated with newly-formed quartz, in parts. Ca-amphibole from Jeseník Massif include fibres of pumpellyite-(Mg) and -(Al) and chlorite. Based on secondary mineral assemblage and chemistry of chlorite and pumpellyite, the metamorphic conditions are constrained at sub-greenschist facies, roughly conforming to the prehnite-pumpellyite subfacies. Late syn- to postkinematic microtextural position and other criteria may indicate that origin of pumpellyite was induced by cooling processes succeeding the Early Permian magmatism.

Úvod

Při petrografickém studiu metamorfních hornin v Hrubém Jeseníku upoutaly pozornost drobné roztroušené minerály, uzavřené v bazickém plagioklasu a amfibolu, mezi kterými se vyskytoval také pumpellyit. Pumpellyitu, patřícímu k diagnostickým minerálům metamorfních podmínek anchizóny („subgreenschist facies“), dosud nebyla v české části moravsko-slezské oblasti věnována pozornost. Pumpellyit-aktinolitová facie byla popsána v živcových kvarcitech, které ze severovýchodu obalují žulovský pluton (Puziewicz et al. 2003). Příspěvek se věnuje stručné petrologické a chemické charakteristice tohoto minerálu a jeho předpokládané genezi.

Stanovení p-T podmínek vývoje Ca-hydrosilikátů není jednoznačné, protože je ve významné míře ovlivněno charakterem reakčního materiálu, jako i složením infiltrujících fluid, které jsou důležitými činiteli nízkostupňové metamorfózy. Spodní hranice výskytu pumpellyitu (Fe-typu), je ohraničena teplotou od 130 °C (Schiffman – Liou 1980), kde asociuje se zeolity. Vrchní hranice stability je stanovena na ca 250–350 °C (při 3–8 kb) anebo až 350–450 °C (Frey et al. 1991, Schiffman – Liou 1980), kdy je pumpellyit nahrazován aktinolitem, což vyjadřuje nástup facie zelených břidlic. V průběhu této reakce se chlorit obohacuje o Al a pumpellyit o Al i Mg (Day – Springer 2005). Maximální rozšíření prehnit-pumpellyitové facie znázorňuje p-T pole mezi 175–280 °C při 0,5–4,5 kb a rozmezí tlakové stability těchto minerálů je možno (při teplotě mezi 200–300 °C) orientačně určit na 2–3 kb (Frey et al. 1991). I když je tlakové rozmezí chápáno různě, generálně se akceptuje vyšší tlaková stabilita pumpellyitu vůči prehnitu. Pro objektivní obraz třeba uvést, že v jiných termodynamických kalkulacích (např. Powell et al. 1993) anebo v přírodních

geotermálních polích (Evarts – Schiffman 1983) se pumpellyit objevuje při tlacích nižších než 1 kb.

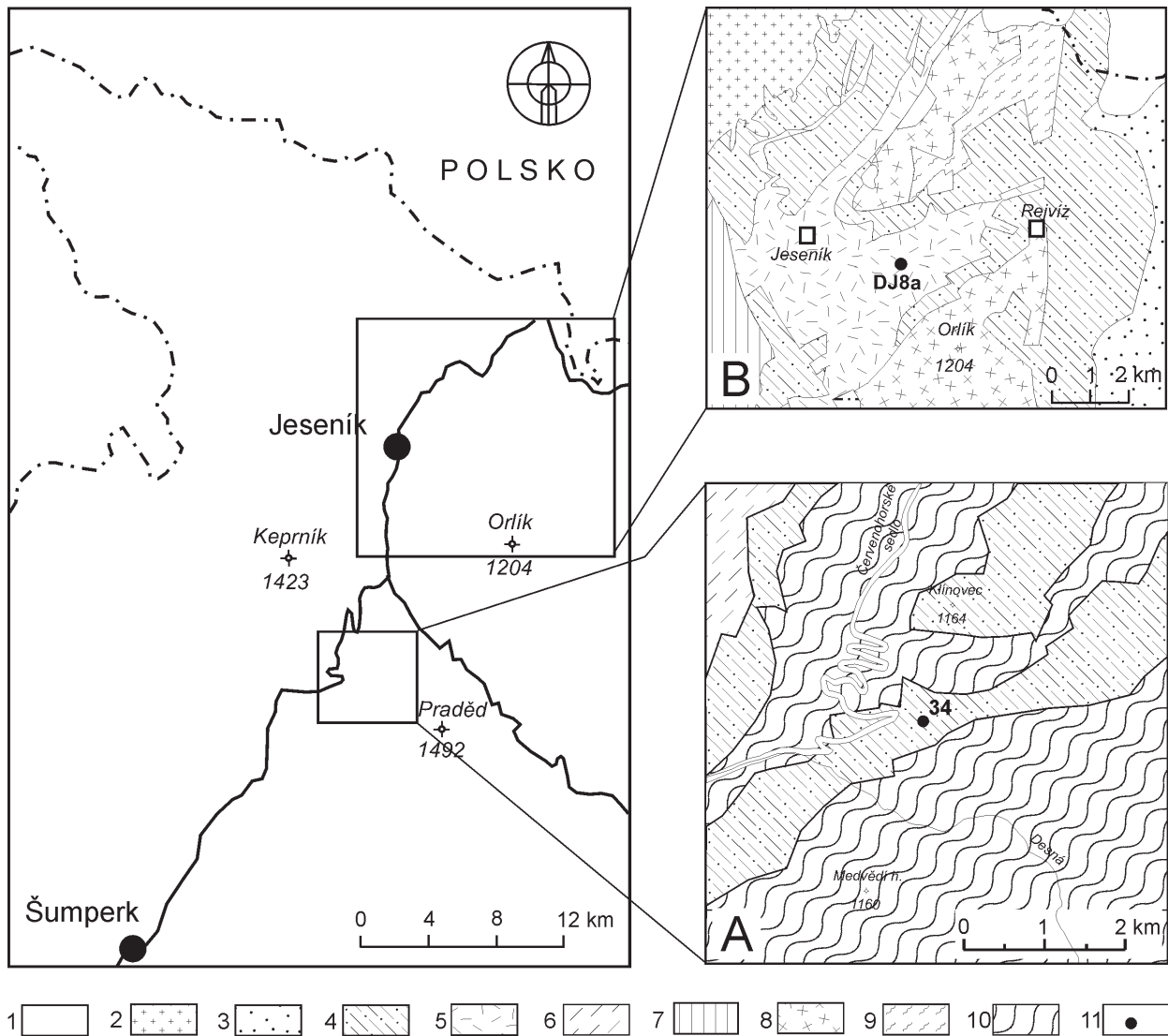
Lokalizace

První zkoumaná oblast se nachází ca 3,5 km v. od obce Kouty nad Desnou, na s. úpatí hřebenu Hřbety mezi říčkou Divoká Desná a jejím pravým přítokem (obr. 1A). V sutině rozvětraných odkryvů v zářezu asfaltové lesní cesty v nadm. v. ca 730 m byly odebrány vzorky tmavošedých až černých biotiticko bytownitových rul, obohacených organickou hmotou (vz. 34/2).

Druhá lokalita nálezů pumpellyitu leží v. od Jeseníku, v údolí Vrchovištního potoka, z. od dolní velké serpentiny silnice z Jeseníku na Rejvíz (obr. 1B). Amfibolit obsahující pumpellyit se nachází ve vidlici levostranného přítoku Vrchovištního potoka, ca 800 m sz. od Jestřábí chaty. Vzorek (DJ 8a) byl odebrán z bloků v bezprostředním okolí výchozu černých plagioklasových rul.

Přehled výzkumů

Studované horniny první zkoumané oblasti (obr. 1A) náleží k nejvýše metamorfovaným horninám, rozšířeným zejména v širším pásmu červenohorského sedla (Becke 1892) – dříve označovaném jako střední fylitová zóna (Kölbl 1929) anebo série červenohorského sedla (Pouba a kol. 1962). V současnosti je tato zóna včleněna do vrbenské skupiny, představující vulkanosedimentární soubor hornin devonského stáří, obalující kadomskou desenskou jednotku. Předmětné horniny se nacházejí v nadloží bazálních kvarcitů, které byly paleontologicky stanovené jako spodnosedevonské (Roemer 1865). K nejvyšším litologickým členům vrbenské skupiny náleží tzv. heřmanovické



Obr. 1: Geologická skica (na základě mapy Opletal a kol. 1998) s lokalizací bytownitové ruly s pumpellyitem (A) a geologická skica (upraveno podle mapy Žáček et al. 1995) s lokalizací amfibolitu s pumpellyitem (B). 1 – kenozoický pokryv, 2 – žulovský masiv, 3 – andělskohorské souvrství (kulm), 4 – vrbenská skupina, 5 – jesenícký amfibolitový masiv, 6 – skupina Branné, 7 – keprnická jednotka, 8 – desenská jednotka – jádro, 9 – desenská jednotka – obal, 10 – desenská jednotka, nerozlišená, 11 – studovaná lokalita.

Fig. 1: Geological sketch-map (based on Opletal et al. 1998) with sample location of bytownite gneiss with pumpellyite (A) and geological sketch-map (adapted according to Žáček et al. 1995) with location of amphibolite with pumpellyite (B). 1 – Cenozoic cover, 2 – Žulová granite massif, 3 – Andělská hora Formation, 4 – Vrbno Group, 5 – Jeseník amphibolite massif, 6 – Branná Group, 7 – Keprník Unit, 8 – Desná Unit – core, 9 – Desná Unit – envelope, 10 – Desná Unit, undifferentiated, 11 – investigated sample.

krystalické vápence, stratigrafického rozpětí givet–famen (Hladil et al. 1987).

Tmavé ruly, obsahující jemně rozptýlenou organickou hmotu, se vyznačují přítomností bazického plagioklasu s opticky identifikovaným bytownitem (Bederke 1935, Fabian 1936, Mašek 1958). Zmínění autoři stanovili v minerální náplni, kromě bytownitu, křemen, biotit, staurolit, granát, muskovit, ojediněle chlorit a pod. Metamorfní asociace je považovaná za důsledek variské regionální (dynamo) metamorfozy. Názory na charakter zdrojového materiálu těchto hornin netradičního složení nejsou ustálené a pohybují se od slinitého protolitu (Fabian 1936), přes montmorillonitové jíly, nejspíš vulkanogenního původu (René 1983) až po metasomatický produkt granitoidních magmat (Bederke 1935).

Druhý výskyt pumpellyitu je situovaný v tzv. jeseníckém amfibolitovém masivu, který je budován pestrou suitou bazických hornin magmatického a pyroklastického původu. Jsou metamorfované v různém stupni a vyznačují se komplikovanými primárními texturními vztahy i pozdějšími strukturně-deformačními stavbami. Stáří jeseníckého masivu je do dnešních dob vnímáno nejednotně a je diskutováno v podobné rovině jako v starších pracích. Amfibolický masiv tvoří smíchané komplexy proterozoického i devonského patra, přičemž jsou zdůrazňovány přechodné vztahy mezi bazickými horninami vrbenské skupiny (sérií červenohorského sedla) a amfibolitovými masivy (Pouba a kol. 1962). Z jiného hlediska se nejvíce opodstatňuje devonského původu amfibolitového masivu a upřednostňuje se starší věk komplexů bazických hornin, porovnatelný s věkem desenských rul (Novotný –

Štelcl 1961). Horniny jesenického amfibolitového masivu odpovídají vesměs oceánským tholeitům, podobně jako bazické horniny vrbenského pruhu, avšak jejich společný vulkanický původ je zpochybňovaný (Souček 1981).

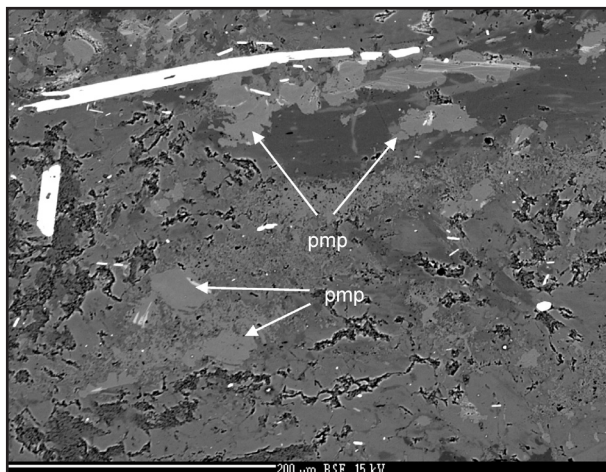
Metodika

Vzorek MK 34/2 byl měřen R. Škodou na elektronové mikrosondě Cameca SX100 na společném pracovišti PřF MU a ČGS v Brně. Minerály ve vzorku DJ 8a byly měřeny standardizovanou metodou EDX na Camscan-LINkeXL na ČGS v Praze-Barrandově J. Kotrbou. Měření bodových analýz probíhalo na grafitem pokovených leštěných výbrusech při urychlovacím napětí 15kV a proudu 20 nA, s kalibračními standardy běžně používanými u analýz silikátů. Měření minerální fáze byly příliš jemnozrné, z toho důvodu průměr elektronového paprsku se pohyboval okolo 2 μm.

Petrografický popis proměny a chemické složení minerálů

Ve srovnání s běžnými fylity vrbenské skupiny mají bytownitové ruly nevýrazně vyvinutou stavbu jak sedimentárního, tak metamorfního původu. Metamorfní foliaci naznačuje zejména přednostně orientovaný biotit, i když nevytváří samostatné lepidoblastické proužky. Ve zkoumaných vzorcích tvoří bazický plagioklas ca 2/3 modálního minerálního složení, zbytek připadá na biotit, muskovit, křemen a staurolit, které reprezentují metamorfní minerální asociaci charakteristickou pro nižší část amfibolitové facie. Předmetamorfní strukturně-minerální náplň horniny zaznamenávají nehojné křemenné nebo muskovitové („ms I“) laminy, jemná organická hmota a zrnka ilmenitu. Ruly se místy vyznačují masivní, homogenní texturou.

Druhotné proměny obecně nedosahují značné intenzity, jsou lokalizované především podél naložených mladších klivázních ploch. Nejvíce náchylný na proměny je bazický plagioklas, dosahující velikosti 1–2 mm, který



Obr. 2: BSE mikrosnímek plagioklasu bytownitového (světlešedý) až andezínového (tmavší) složení. Šipky směřují k novotvořeným fázím pumpellyitu (pmp); podélný svítící minerál nahoře – ilmenit.

Fig. 2: BSE image of plagioclase composed from bytownite (grey) to andesine (dark grey) phases. Arrows point to new formed pumpellyite phases; longitudinal light mineral in the above is ilmenite.

sample	MK 34/2				DJ 8a			
	pmp-(Al)	pmp-(Al)	pmp-(Fe)	pl	pmp-(Mg)	pmp-(Al)	chl	hb-(Mg)
an. N°	7 opr.	8 opr.	46	1	29	37	27	36
SiO ₂	36,93	36,65	35,97	46,21	36,33	37,82	28,10	45,64
TiO ₂	0,20	0,04	0,20		0,11	0,13		0,33
Al ₂ O ₃	25,79	25,40	24,37	33,80	25,28	25,50	19,61	11,85
Cr ₂ O ₃	0,13	0,00	0,09		0,12	0,00	0,11	0,28
FeO _{tot}	4,33	5,32	6,08	0,04	6,12	3,86	27,36	14,85
MgO	1,68	1,93	1,89		3,85	2,82	10,48	11,01
MnO	0,02	0,00	0,03		0,00	0,00	0,17	0,23
V ₂ O ₃	0,43	0,00						
BaO	0,03	0,00	0,01					
CaO	23,47	23,52	22,72	18,10	20,92	23,82	0,61	12,07
Na ₂ O	0,03	0,03	0,06	1,52				1,37
K ₂ O	0,01	0,02	0,01	0,00				0,12
Total	93,05	92,91	91,42	99,66	92,73	93,95	86,44	97,75
per ox.	24,5	24,5	24,5	8	24,5	24,5	14	23
Si	5,96	5,95	5,96	2,13	5,90	6,02	3,02	6,71
Al	4,90	4,86	4,76	1,84	4,84	4,79	2,48	2,06
Ti	0,02	0,01	0,02		0,01	0,02		0,04
Cr	0,02	0,00	0,01		0,02	0,00	0,01	0,03
Mg	0,41	0,49	0,47		0,93	0,67	1,68	2,41
Fe ²⁺	0,59	0,72	0,84	0,00	0,83	0,51	2,46	1,83
Mn	0,00	0,00	0,04		0,00	0,00	0,02	0,03
V	0,06	0,00	0,00					
Ba	0,00	0,00	0,00					
Ca	4,06	4,09	4,03	0,89	3,64	4,06	0,07	1,90
Na	0,01	0,01	0,02	0,14				0,39
K	0,00	0,00	0,00	0,00				0,02
M/MF	0,41	0,40	0,36		0,53	0,57	0,41	0,57

Tab. 1: Analýzy pumpellyitů, chloritu, hostitelského bazického plagioklasu (bytownit) a amfibolu (magnezihornblend). M/MF=Mg/(Mg+Fe) v apfu.

Tab. 1: Chemical analyses of pumpellyites, chlorite and their host minerals – plagioclase (bytownite) and amphibole (magnesianhornblende). M/MF=Mg/(Mg+Fe) in apfu.

občas uzavírá druhotné minerály – slabě zelenkavé velmi drobné lupínky pumpellyitu (obr. 2, tab. 1, vz. MK34/2), křemen a občas sericit. Protože je plagioklas zpravidla zakalený jemnou organickou substancí, spolehlivou identifikaci pumpellyitu a dalších naložených fází umožnilo studium pomocí BSE zobrazení a elektronové mikroanalýzy. Ve vztahu vůči základní deformačně-metamorfní stavbě je lze spíše označovat jako produkt pozdně synkinematické až postkinematické fáze.

Hostitelskou horninou pumpellyitu, pocházejícího z jesenického amfibolitového masivu, je amfibolit složený z tmavozeleného Ca-amfibolu a plagioklasu dosahujícího bazicitu labradoritu. Téměř černý masivní drobně zrnitý amfibolit má nematoblastickou strukturu. Většinou krátce sloupcovité až skoro izometrické amfiboly jsou silně poikilitické s drobnými inkluzemi plagioklasu, možná i křemene. Kalcit tvoří ojedinělé žilky, z druhotných minerálů se lokálně objevuje pyrrhotin a chlorit. Pumpellyit vytváří laločnaté izometrické agregáty o velikosti až do 0,07 mm (analýza 37 v tab. 1) uzavírané v amfibolu, taktéž na styku s plagioklasem. Druhou formou jsou úzké pásy jdoucí paralelně se štěpností amfibolu. Jsou až 70 μm dlouhé, ale jen 3–8 μm široké (analýza 29).

Podle klasifikace (Passaglia – Gottardi 1973) náleží pumpellyit v biotiticko-bytownitových rulách (tab. 1, vz. MK 34/2) k pumpellyitu-(Al) a pumpellyitu-(Fe). Pumpellyit, který vznikl na úkor amfibolu (tab. 1, vz. DJ 8a), klasifikovaném jako magnesiohornblend (Leake et al. 1997), představuje pumpellyit-(Mg) a -(Al). Pumpellyity vznikající z bazického plagioklasu mají nižší poměr M/MF než ty, které alterují amfibol (viz dolní část tab. 1). Z chemického složení těchto pumpellyitů plyne podobný poměr M/MF jako má primární amfibol. Z minerálního složení hornin je zřejmé, že novotvořená asociace vzniká za přispění externích fluid. V případě přeměny bytownitu se jedná hlavně o přínos H_2O , FeO a MgO, při vývoji z amfibolu je vedle H_2O markantní přínos Al_2O_3 .

Geneze pumpellyitu a diskuze

Metamorfni podmínky tvorby pumpellyitu spadají do oblasti anchizóny, kde nejspíše odpovídají prehnit-pumpellyitové subfacii. V amfibolu (vz. DJ 8a) se ojediněle objevují tenké lupínky chloritu (tab. 1), který podle chloritové kompoziční geotermometrie (Cathelineau 1988) indikuje teplotu vzniku ca 250 °C. Na nízkoteplotní charakter pumpellyitu v obou studovaných vzorcích také poukazuje nepřítomnost aktinolitu/tremolitu, do jisté míry i minerálů epidot-zoisitové skupiny. Absence prehnitu může být zapříčiněna nevhodným chemickým složením horniny (více je charakteristický pro vápenato-silikátové horniny, případně pro asociaci s kalcitem), anebo je také možné, že vývoj pumpellyitu byl podmiňován tlakovými podmínkami převyšujícími pole stability prehnitu. Prehnit není v jesenické oblasti výjimečný, je např. popisovaný ze žil alpského typu v amfibolitech sobotínského masivu (Novotný a kol. 2002). Není však zřejmé, do jaké míry je oprávněné přímé genetické srovnávání obou minerálů.

Stáří a tektonické pozadí vývoje zkoumané minerální asociace s pumpellyitem lze hodnotit z více hledisek. Může představovat retrográdní fázi završující vývoj základní variské vrcholové metamorfni asociace horniny. Případně krystalizovala v důsledku následné mylonitizace – fylonitizace, která probíhala v kompresním režimu ve facii zelených břidlic a v širokém měřítku postihla

horniny silezika (např. Cháb – Opletal 1984, Hanžl 1992, Schulmann – Gayer 2000). Pumpellyit mohl také vzniknout v průběhu „pozdně-kulmských“ deformačních fází (Orel 1975) a s nimi související nízkoteplotní metamorfózy, s hypotetickým příklonem k vyšším tlakům. Plynulý přechod vyšších minerálních asociací směrem k pumpellyitu je obtížné prokázat, proto se nabízí spíše alternativa mladší, relativně nezávislé tektonické fáze.

Na druhé straně je opodstatněná i paralelizace s tektonickými a následnými termálně-látkovými vlivy spojenými s chladnutím žulovského plutonu a jeho drobnějších regionálních ekvivalentů v permském období. Tato představa koresponduje s relativně nízkými $^{40}Ar/^{39}Ar$ věky amfibolu a muskovitu, které dávají 273 Ma a 288 Ma (Maluski et al. 1995). Tyto minerály, které mají vyšší uzavírací teplotu (McDougall – Harrison 1999) než je předpokládána teplota tvorby pumpellyitu, pocházejí z deformovaného desenského krystalinika v oblasti červenohorského zlomového pásma, v blízkosti první zkoumané lokality (obr. 1A).

Závěr

Na dvou lokalitách v české části Hrubého Jeseníku byl identifikován pumpellyit – v bytownitových rulách vrbenské skupiny náleží Al- a Fe-typu, zatímco v amfibolitech jesenického masivu se vyskytuje Al- a Mg-typ. Pumpellyit vznikl v důsledku několika činitelů:

- 1/ příznivé litologické a minerální predispozice, kde se tvoří na úkor plagioklasu bytownitového složení a Ca-amfibolu,
- 2/ odráží anchimetamorfni podmínky vzniku, přibližně v poli prehnit-pumpellyitové facie,
- 3/ jeho krystalizace je vázaná na přínos externích fluid.

Pozdně syn- až post-kinematický pumpellyit pravděpodobně vznikl v období raně permských pomagmatických (žulovský pluton, s. l.) tektonometamorfni procesů spojených s konsolidací a chladnutím zkoumané oblasti.

Poděkování

Práce vznikla v rámci interního výzkumného projektu České geologické služby č. ú. 390005. Autoři děkují Doc. RNDr. J. Leichmannovi, PhD. a Doc. RNDr. M. Dydovi, CSc. za recenzentské posouzení článku. Za odbornou pomoc s grafickou editací jsme zavázáni Mgr. H. Gilíkové, PhD.

Literatura

- Becke, F. (1892): Vorläufiger Bericht über den geologischen Bau und die kristallinischen Schiefer des Hohen Gesenkes (Altvatergebirge). – Sitz. – Ber. K. Akad. Wiss., math.-naturwiss. Kl., Bd. CI, Abt. I, 1–15. Wien.
- Bederke, E. (1935): Die Regionalmetamorphose im Altvatergebirge. – Geol. Rdsch., 26, 1/2, 108–124. Leipzig.
- Cathelineau, M. (1988): Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature. – Clay Miner. 23, 471–485
- Day, H. W. – Springer, R. K. (2005): The first appearance of actinolite in the prehnite-pumpellyite facies, Sierra Nevada, California. – Canadian Min., 43, 89–104.
- Evarts, R. C. – Schiffman, P. (1983): Submarine hydrothermal metamorphism of the Del Puerto ophiolite, California. – Am. J. Sci., 283, 289–340.
- Fabian (1936): Die Metamorphose devonischer Phyllite im Altvatergebirge. – Chem. d. Erde, 10, 343–408. Jena.
- Frey, M. – Capitani, C. – Liu, J. G. (1991): A new petrogenetic grid for low-grade metabasites. – J. met. Geol., 9, 497–509.
- Hanžl, P. (1992): Deformace devonu a jeho podloží severně od Vrbna pod Pradědem v Hrubém Jeseníku. – Věst. Čes. Geol. Úst., 67, 61–73.
- Hladil, J. – Kalvoda, J. – Vavrdová, M. (1987): Některá nová mikropaleontologická data z Nížkého Jeseníku. – Knih. Zemního plynu a nafty, 6a, Miscellanea Mikropaleontologica, II/1, 97–118. Hodonín.
- Cháb, J. – Opletal, M. (1984): Příkrovová stavba východního okraje skupiny Červenohorského sedla v Hrubém Jeseníku. – Věst. Ústř. úst. geol., 59, 1–10. Praha.
- Kölbl, L. (1929): Die alpine Tektonik des Altvatergebirges. – Mitt. Geol. Gesell., 22, 65–124. Wien.
- Leake, B. E. – Woolley, A. R. – Arps, Ch. E. – Birch, W. D. – Gilbert, M. Ch. – Grice, J. D. – Hawthorne, F. C. – Kato, A. – Kisch, H. J. – Krivovichev, V. G. – Linthout, K. – Laird, J. – Mandarino, J. A. – Maresch, W. V. – Nickel, E. H. – Rock, N. M. – Schumacher, J. C. – Smith, D. C. – Stephenson, N. C. – Ungaretti, L. – Whittaker, E. J. – Youzhi, G. (1997): Nomenclature of amphiboles: Report of Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. – Am. Miner., 82, 1019–1037.
- Maluski, H. – Rajlich, P. – Souček, J. (1995): Pre-Variscan and early Alpine thermo-tectonohistory of the northeastern Bohemian Massif. – An Ar₄₀/Ar₃₉ study. – Geol. Rundsch., 84, 345–358.
- Mašek, J. (1958): Geologicko-petrografické poměry v severovýchodním okolí Koutů v Hrubém Jeseníku. – Přír. sbor. Ostrav. Kraje, sv. 19, 279–306. Opava.
- McDougall, J. – Harrison, T. M. (1999): Geochronology and Thermochemistry by the 40Ar/39Ar Method. – Oxford Univ. Press, 2nd ed., pp. 269.
- Novotný, P. – Štelcl, J. (1961): Petrografie severovýchodní části Hrubého Jeseníku. – Folia PřF UJEP, Sv. II, 123 str. Brno.
- Novotný, P. – Zimák, J. – Toegel, V. (2002): Mineralizace alpského typu z lomu v Krásném u Šumperka. – Bull. miner.-petrol. odd. Nár. Muzea, 10, 259–264.
- Opletal, M. – Sekyra, J. – Novák, M. (1998): Geologická mapa ČR, list 14–24 Bělá pod Pradědem. – Soubor geologických a účelových map 1:50 000, ČGS Praha.
- Orel, P. (1975): Variský tektonický styl paleozoika západní části jeseníckého bloku. – Výzkumné práce ÚÚG, 8ú, 7–23. ÚÚG Brno.
- Passaglia, E. – Gottardi, G. (1973): Crystal chemistry and nomenclature of pumpellyites and julgoldites. – Can. Mineralogist, 12, 219–223.
- Pouba, Z. – Dvořák, J. – Kužvart, M. – Mísař, Z. – Musilová, L. – Prosová, M. – Rohlich, P. – Skácel, J. – Unzeitig, M. (1962): Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1:200 000 M-33-XVIII Jeseník. Vyd. ÚÚG, Nakl. ČSAV, 178 str. Praha.
- Powell, W. D. – Carmichael, D. M. – Hodgson, C. J. (1993): Thermobarometry in a subgreenschist to greenschist transition in metabasites of the Abitibi greenstone belt, Superior Province, Canada. – J. metamorphic Geol., 11, 165–178.
- Puziewicz, J. – Olejniczak, K. – Koepke, J. (2003): Pumpellyite-actinolite facies quartzites from the eastern cover of the Žulová pluton (NE Bohemian Massif). – Neues Jb. Min.-Abh., 178, 153–172.
- René, M. (1983): Geochemie a petrologie metapelitů obalových sérií jádra desenské klenby. – Čas. mineral. geol., 28, 3, 277–286. Praha.
- Roemer, C. F. (1865): Ueber die Auffindung devonischer Versteinerungen auf dem Osthange des Altvater-Gebirges. – Z. dtsh. Geol. Ges., Jb., Stuttgart, 1865, 579–593.
- Schiffman, P. – Liou, J. G. (1980): Synthesis and stability relations of Mg-Al pumpellyite, Ca₂Al₃MgSi₆O₂₁(OH)₇. – J. Petrol., 21, 441–474.
- Schulman, K. – Gayer, R. (2000): A model for a continental accretionary wedge developed by oblique collision: the NE Bohemian Massif. – Jour. Geol. Soc., London, 157, 401–416.
- Souček, J. (1981): Geochemie devonských metabazitů Hrubého a Nížkého Jeseníku. – Čas. Pro min. a geol., 26, 125–142.
- Žáček, V. – Sekyra, J. – Opletal, M. (1995): Geologická mapa ČR, list 14–22 Jeseník. – Soubor geologických a účelových map 1:50 000, ČGS Praha.