

# MAGMATICKÝ A POSTMAGMATICKÝ VÝVOJ HORNIN MONCHIQUIT-PIKRITOVÉ SKUPINY V OKOLÍ VALAŠSKÉHO MEZIŘÍČÍ

Magmatic and postmagmatic evolution of monchiquite-picrite rock group in the surroundings of Valašské Meziříčí

David Buriánek

Česká geologická služba, Leitnerova 22, 658 59 Brno; e-mail: david.burianek@geology.cz

(25–23 Rožnov pod Radhoštěm, 25–14 Valašské Meziříčí, 25–12 Hranice)

*Key words:* Silesian Unit, petrology, picrite, monchiquite, pyroxene, hydrothermal alteration

## Abstract

New results of petrographical investigations of the Early Cretaceous rocks monchiquite-picrite group in the area around the town of Valašské Meziříčí (Silesian Unit of the flysch belt, the West Carpathians) provide evidence on polyphase magmatic and postmagmatic evolution. All observed textural and mineralogical features originated during injection of Mg-rich magma into wet sediments or on the sea floor and subsequent reaction with seawater. Occasional presence of the amphibole (kaersutite) is controlled by high volatile content. The compositional evolution trend of pyroxene from diopside towards aegirine and spinelides from chromium spinels core to magnetite rim can be explained due to crystallization of the residual melt under higher oxygen fugacity. During cooling a part of the primary magmatic assemblage was transformed to the secondary minerals. Alteration products include chlorite, magnetite, serpentine, limonite, albite, titanite, K-feldspars and calcite, some of which fill vesicles and/or joints.

## Úvod

Horniny pikrit-těšínitové asociace tvoří většinou plošně malé výskyty situované ve svrchní části těšínsko-hradištského souvrství slezské jednotky (Menčík et al. 1983). Stáří těchto hornin je spodní křída (berrias-apt). Těšínity byly datovány na polské straně Karpat metodou  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , pomocí níž bylo zjištěno stáří  $122,3 \pm 1,6$  Ma (Lucińska-Anczkiewicz et al. 2002). Pikrit-těšínitová asociace zahrnuje poměrně širokou skupinu hornin s proměnlivým zastoupením světlých a tmavých minerálů. Hovorka a Spišák (1988) rozdělili tyto horniny na čtyři skupiny: pikrity, bazalty, monchiquity a těšínity. Mezi těmito horninovými skupinami však existují četné přechody. V geotektonických diagramech spadají tyto horniny do skupiny vnitrodeskových alkalických bazaltů (Dostal – Owen 1998). Podle chemického a izotopického složení bylo magma generováno z plášťového zdroje.

V této studii nebyly posuzovány horniny s vyšším obsahem živců jako jsou bazalty a těšínity. Pikrity, monchiquit a fourchity se vyskytují převážně v podobě žil nebo lávových proudů. Tyto horniny mezi sebou tvoří neostré přechody, a proto je popisujeme společně jako skupinu monchiquitů a pikritů.

Pikrit je drobně až středně zrnitá ultrabazická výlevná hornina, která je tvořena hlavně olivínem. Dále je zastoupen v proměnlivém množství klinopyroxen, amfibol a biotit. V podružném a akcesorickém množství se vyskytuje bazický plagioklas, ilmenit, magnetit, ortopyroxen, apatit a někdy analcim. S ubývajícím množstvím olivínu přechází pikrity do monchiquitů.

Monchiquit je označení pro alkalický lamprofyry (Rock 1987), který obsahuje klinopyroxen, amfibol, olivín, plagioklas a sklo. Někdy mohou být v základní hmotě foidy nebo analcim. Porfyrické vyrostlice tvoří tmavé minerály

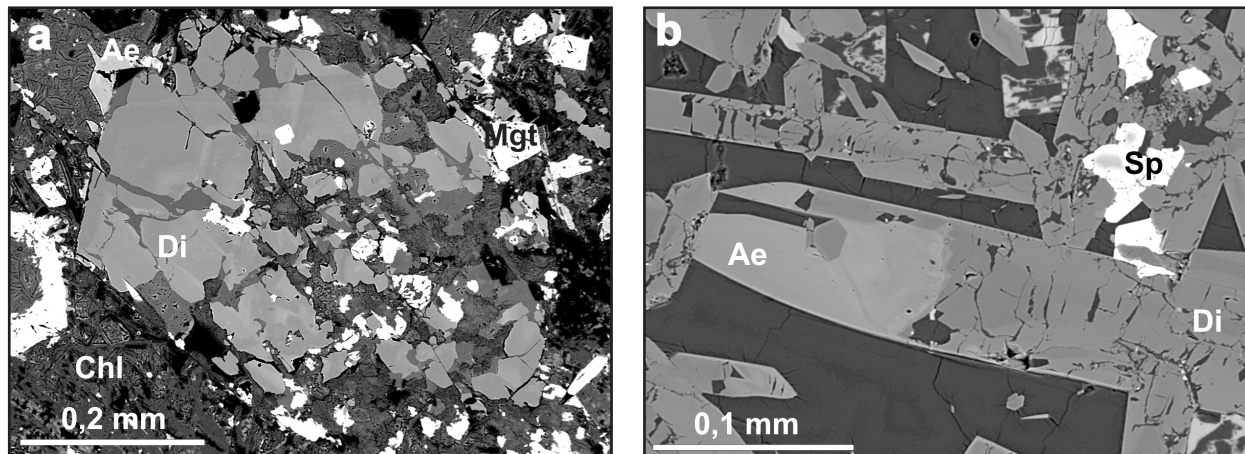
a hornina má sklovitou základní hmotu. Pokud nemá hornina olivín, označujeme ji jako fourchit.

Na území mapových listů 1 : 25 000 Rožnov pod Radhoštěm (25–231), Valašské Meziříčí (25–142) a Starý Jičín (25–124) jsou horniny skupiny monchiquitů a pikritů přítomny jen v podobě drobných výskytů o velikosti několik desítek až stovek m<sup>2</sup>. Vulkanity většinou vystupují v podobě izolovaných balvanů nebo úlomků na poli a jen vzácně tvoří tyto horniny drobné výchozy. Ve studovaném území se vulkanity koncentrují ve třech hlavních oblastech: (a) Lešná, Příluky a Hodslavice severně od Valašského Meziříčí, (b) oblast mezi obcemi Zámrsky a Choryně severozápadně od Valašského Meziříčí, (c) drobné výskyty v okolí Vlkoprd severozápadně od Rožnova pod Radhoštěm (východně od Valašského Meziříčí). Většina hornin je výrazně postižena sekundárními přeměnami jako je chloritizace, karbonatizace a zeolitizace.

## Metodika

Během terénních prací byly stanoveny hlavní typy vulkanických hornin a jejich vzájemné vztahy, případně vztahy k okolním sedimentům. Detailní klasifikace proběhla na základě následných laboratorních analýz.

Analýzy minerálů byly provedeny na elektronové mikrosondě Cameca Camebax SX-100, Ústav geologických věd PřF, MU, Brno (operátor: Š. Benedová). Měření probíhalo ve vlnově disperzním módu za podmínek: urychlovací napětí 15 kV, průměr elektronového svazku 5 μm, proud 20 nA, načítací čas 20 s. Při vyhodnocení bylo pro amfiboly užito platné klasifikace (Leake et al. 1997) a trojmocné železo bylo počítáno metodou 13eCNK (Schumacher 1996). Pyroxeny klasifikované podle Morimoto et al. (1988) jsou počítány na 6 kyslíků a trojmocné železo je přepočteno podle Droopa (1987). Spinelidy byly přepočteny na 4 kyslíky, Fe<sup>2+</sup> a Fe<sup>3+</sup> bylo rozpočteno



Obr. 1: Monchiquity a pikrity v BSE snímcích: (a) vyrostlice pyroxenu je částečně zatlačována chloritem, monchiquit z lokality Příluky (DH 49); (b) sektorově zonální vyrostlice pyroxenu obklopená sklovitou základní hmotou, pikrit z lokality Choryně (DH 6c).  
 Fig. 1: Monchiquite and picrite in BSE images: (a) pyroxene phenocryst partially replaced by chlorite in monchiquite from locality Příluky (DH 49); (b) sector-zoned pyroxene phenocryst surrounded by glassy matrix in picrite from locality Choryně (DH 6c).

na základ tří kationtů ve vzorci. Použité zkratky minerálů jsou podle Kretze (1983).

### Petrografická charakteristika

#### Monchiquity

Biotiticko-amfibolický monchiquit nalezneme východně od obce Nemetice (Šmíd 1978). Je to drobně zrnitá hornina obsahující vyrostlice amfibolu. Základní hmota je tvořena hypautomorfním silně alterovaným plagioklasem (sericitizace, karbonatizace), sloupcovitým amfibolem a drobnými lupínky biotitu.

No	DH4/2	DH4/7	DH4/11	DH6c33	DH6c37	DH6c53
Loc.	Straník	Příluky	Příluky	Choryně	Choryně	Choryně
SiO <sub>2</sub>	51,86	48,59	48,16	45,78	50,06	50,28
TiO <sub>2</sub>	0,92	2,37	2,31	2,75	1,24	4,37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,44	4,66	4,42	6,61	0,27	0,21
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,03	0,03	0,05	0,01
Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1,46	2,84	4,00	6,80	16,06	28,93
FeO	4,20	3,80	2,73	1,30	10,46	0,00
MnO	0,14	0,09	0,13	0,12	1,35	0,59
MgO	16,45	13,40	13,55	13,20	1,78	0,07
CaO	21,95	23,78	23,60	23,97	11,79	2,12
Na <sub>2</sub> O	0,23	0,42	0,52	0,33	6,66	13,02
K <sub>2</sub> O	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,20
<b>TOTAL</b>	<b>99,65</b>	<b>99,95</b>	<b>99,45</b>	<b>100,89</b>	<b>99,72</b>	<b>99,80</b>
Si	1,910	1,807	1,800	1,696	1,972	1,934
Al	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe <sup>3+</sup>	0,040	0,080	0,113	0,189	0,476	0,838
Cr	0,000	0,000	0,001	0,001	0,002	0,000
Ti	0,025	0,066	0,065	0,077	0,037	0,126
Fe <sup>2+</sup>	0,129	0,118	0,085	0,040	0,345	0,000
Mn	0,004	0,003	0,004	0,004	0,045	0,019
Mg	0,903	0,743	0,755	0,729	0,105	0,004
Ca	0,866	0,948	0,945	0,951	0,498	0,087
Na	0,016	0,030	0,038	0,024	0,509	0,971
K	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,010
<b>TOTAL</b>	<b>4,000</b>	<b>4,000</b>	<b>4,000</b>	<b>4,000</b>	<b>4,000</b>	<b>4,000</b>

Tab. 1: Reprezentativní chemické složení pyroxenů.

Tab. 1: Representative chemical composition of pyroxenes.

Prostorově nepříliš rozsáhlé výskyty fourchitů a těšinitů nacházíme na polích východně od obce Vlkoprady (Zubří). Podle Šmída (1978) se jedná o amfibolicko-těšinitický fourchit (tedy monchiquit bez olivínu). Nově odebraný vzorek se svým složením blíží spíše bazaltu. Drobně zrnitá hornina je tvořena hypautomorfními lištami živců (plagioklas a alkalický živce). Živce obklopují chlorit-kalcitové pseudomorfozy po sloupcích tmavých minerálů (patrně pseudomorfozy po amfibolu). Hmota vyplňující prostor mezi těmito vyrostlicemi je tvořena hlavně chlority (dále obsahuje karbonáty a analcim) a původně se patrně jednalo o vulkanické sklo. Běžným akcesorickým minerálem je apatit. Živce jsou postiženy sericitizací a karbonatizací.

Řadu drobných výskytů těchto hornin nacházíme mezi obcemi Příluky a Vysoká. Výchozy se nachází zejména při cestě z Přítluk do Jasenice (DH49). Převažuje zde pyroxenický monchiquit, který někdy přechází do amfibol-biotitického. Jde o drobnozrnné horniny tmavé barvy složené hlavně z plagioklasu, pyroxenu a občas také amfibolu s biotitem. Tmavé minerály mohou tvořit drobné vyrostlice. Kontakt mezi sedimenty (jílové břidlice) a vulkanity je tektonický. Zdejší pyroxenické monchiquity (DH 49) jsou výrazně postižené sekundárními přeměnami jako je chloritizace a karbonatizace (obr. 1a). Diopsid ( $X_{Mg} = 0,77-0,80$ ,  $Ti = 0,06-0,08$  apfu,  $Na = 0,03-0,04$  apfu) tvoří drobná automorfní zrna a vyrostlice (tab. 1). Na větší vyrostlice pyroxenu někdy narůstají drobná zrna mladšího egirínu ( $X_{Mg} = 0,03$ ;  $Ti = 0,15$  apfu,  $Na = 0,91$  apfu). Plagioklas vyplňuje prostor mezi pyroxeny. Pyroxeny jsou často postiženy sekundárními přeměnami (chloritizace, serpentinizace). Drobnější zrna bývají zcela pseudomorfována chloritem, který chemicky odpovídá železem bohatému klinochloru [ $X_{Mg} = 0,61$ ;  $Al/(Al+Fe+Mg) = 0,30$ ]. Kalcit někdy zatlačuje sekundární minerály vzniklé přeměnou pyroxenů (možná také olivínů) a tvoří nepravidelná zrna rozptýlená v základní hmotě. Základní hmota je tvořena směsí sekundárních minerálů. Jako poměrně běžné akcesorické minerály se objevují apatity, ilmenity a magnetity. Titanem bohatý

magnetit ( $Ti = 0,30-0,31$  apfu) tvoří až 0,1 mm velká automorfní až hypautomorfní zrna. Většinou obsahují drobné krystalograficky orientované odmíšeniny. Původně se patrně jednalo o ilmenit, dnes jsou však odmíšeniny z velké části nahrazeny titanitem. Drobná automorfní až hypautomorfní zrna titanitu jsou také rozptýlená v hornině. Apatit tvoří až 0,5 mm dlouhé sloupce, které v sobě někdy uzavírají sekundární minerály (původně se jednalo patrně o inkluze skla). V základní hmotě bývá kromě lištových živců přítomen chlorit, minerály serpentínové skupiny a jílové minerály. Draselný živec tvoří vějířovité agregáty nebo lištovité krystalky ( $Ab_{2-8}$ ). Albit se vyskytuje jako drobné zrnité agregáty vyplňující prostory mezi lištami draselného živce ( $Ab_{99}$ ). Chlorit se vyskytuje jako shluky drobných lupínků a vějířovité agregáty vyplňující dutinky po plynech. Svým chemickým složením odpovídají klinochloru [ $X_{Mg} = 0,42-0,48$ ;  $Al/(Al+Fe+Mg) = 0,85-0,88$ ].

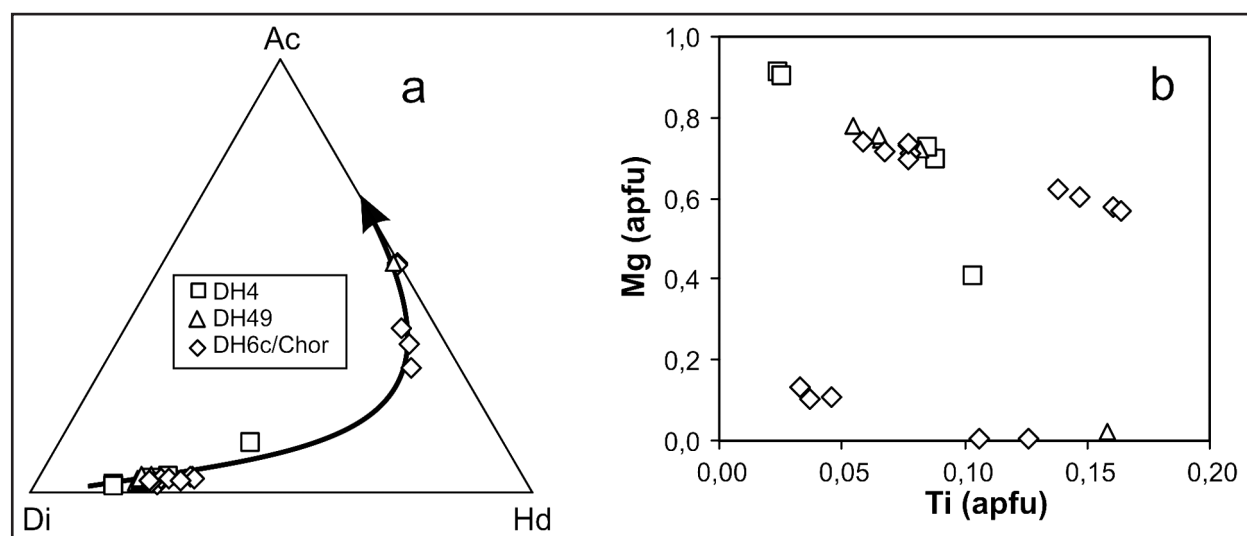
Podobné horniny se vyskytují také dále ve směru na severovýchod směrem k Hostašovicím a Straníku. Jde většinou o značně zvětřalé a alterované lávy odpovídající monchiquitům. Místy se nacházejí úlomky lapilových až popelových tufů. Lávy jsou pórovité, mandlovcové, místy až granulované. Mandle jsou vyplněné hlavně kalcitem, který se může střídát s vrstvičkami limonitu, případně chalcedonu. Samotná hornina je tvořena chlority, kalcitem, jílovými minerály a limonitem. Někdy se objevují sloupečky apatitu a drobné lištičky alkalických živců. U Straníka (lokalita Straníček – kaplička) vytváří monchiquity polštářové lávy (DH 4b). Jde o porfyrické horniny původně se sklovitou základní hmotou. Pyroxen tvoří krátce sloupcovité krystaly (1–2 mm) bez výrazného pleochroismu. Chemickým složením (obr. 2a) odpovídá diopsidu ( $X_{Mg} = 0,57-0,85$ ;  $Ti = 0,02-0,11$  apfu;  $Na = 0,02-0,09$  apfu). Někdy má vyvinutou magmatickou oscilační zonálnost. Často mohou jeho zrna v centrální části obsahovat inkluze tvořené směsí chloritů a karbonátů (původně patrně sklo).

Automorfní sloupečky amfibolu jsou až 1 mm dlouhé, většinou jsou ale menší než okolní pyroxeny a někdy na ně narůstají. Chemickým složením odpovídají podle klasifikace Leaka et al. (1997) kaersutitu a ferrokaersutitu [ $Si = 5,6-6,0$ ;  $Mg/(Mg+Fe^{2+}) = 0,15-0,70$ ;  $Ti = 0,45-0,73$  apfu]. Živce většinou vyplňují prostor mezi tmavými minerály. Jsou přítomny kyselé plagioklasy ( $An_{10-27}$ ) a alkalické živce. Často se vyskytují pseudomorfozy po vyrostlících olivínů zcela vyplněné směsí minerálů serpentínové skupiny a karbonáty. Tmavé minerály jako amfibol, pyroxen nebo olivín tvoří shluky vyrostlic, takže někdy má hornina až glomeroporfyrickou stavbu. Jako akcesorické minerály se vyskytují apatity a chromity. V základní hmotě bývá kromě lištových živců přítomen chlorit, minerály serpentínové skupiny a jílové minerály. Vzácně se vyskytují drobná zrna pyritu, chalkopyritu a barytu, která jsou patrně sekundární.

Východně od Hostašovic nacházíme monchiquity místy přecházející do bazaltů či pikritů v důsledku nárůstu obsahu živců nebo olivínů. Šmíd (1978) popisuje západně od kóty Včelín (433 m n. m.) pikritické bazalty až bazalty a horniny na vrcholu kopce klasifikuje jako monchiquity. Avšak drobné úlomky a balvany vystupující kolem této kóty (vz. DH 29) nemůžeme přesně zařadit, protože jsou intenzivně alterované a zvětřalé. Studované horniny bývají výrazně postižené karbonatizací a často jsou zbarvené do žluta nebo červena oxidy a hydroxidy železa. Někdy obsahují až 5 mm velké póry. V mikroskopu je patrné, že hornina obsahuje pseudomorfozy tvořené limonitem a karbonátem, které nahrazují sloupcovité minerál (patrně amfibol). Okolní hmota je tvořena albitem, zeolity, karbonáty a jílovými minerály. Místy se vyskytuje drobné zrnité křemen a sloupcovité apatity.

#### Pikrity

Pikrity vystupují společně s monchiquity a nejlépe jsou vyvinuty při cestě z Příluky do Jasenice. Většinou obsahují drobné mandle (kolem 5 mm) vyplněné vrstvičkami



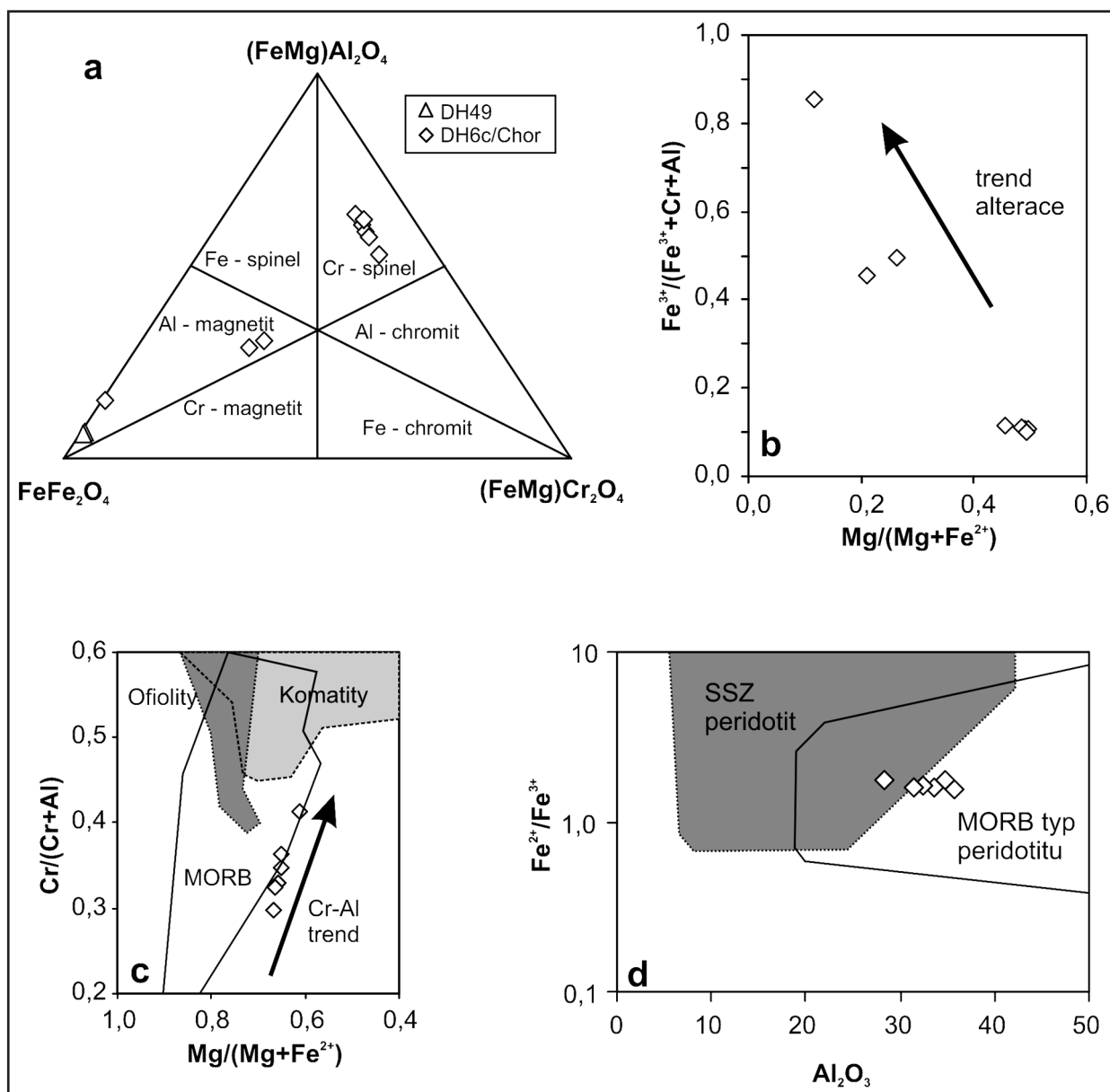
Obr. 2: Chemické složení pyroxenů: (a) diagram Ac–Di–Hd, (b) diagram Mg vs. Ti z lokality: (DH 4) Straníček, (DH 49) Příluky, (DH6c) Choryně. Šipka ukazuje zjednodušený trend zonálnosti ve vyrostlících.

Fig. 2: Chemical composition of pyroxenes: (a) classification diagram Ac–Di–Hd, (b) diagram Mg vs. Ti from localities: (DH 4) Straníček, (DH 49) Příluky, (DH6c) Choryně. Arrow indicates simplified zoning trend in phenocrysts.

kalcitu a chloritu. Hornina dále obsahuje vyrostlice olivínu, který je částečně nahrazen minerály serpentínové skupiny a karbonátem. V základní hmotě se vyskytují hlavně drobné sloupce amfibolu a xenomorfní až hypautomorfní plagioklas, který je postižen sekundárními přeměnami.

Drobné výskyty porfyrických pikritů (Krejčí et al. 1999) jsou odkryty na čele sesuvu v údolí Bečvy severozápadně od Choryně (DH6c/Chor). Často tyto pikrity obsahují nepravidelné metasedimentární xenolity (hlavně kvarcity) a mnohdy přechází z masivní horniny do mandlovců. Jedná se o tmavě šedou horninu původně se sklovitou základní hmotou. Vyrostlice tvoří sloupcovitý pyroxen,

jehlicovitý fluorapatit a pseudomorfozy po neznámém minerálu, patrně olivínu. Jemnozrná základní hmota je tvořená drobnými lupínky Mg chloritu srůstajícími s dalšími sekundárními minerály (hlavně minerály serpentínové skupiny). Pseudomorfozy vzniklé patrně rozpadem olivínu jsou někdy částečně vyplněny kalcitem. Kromě chloritu a minerálů serpentínové skupiny se v těchto pseudomorfozách objevuje blíže neidentifikovaná směs oxidů a hydroxidů Fe a Ti a karbonátů. Titanit tvoří v základní hmotě drobné automorfní krystalky. Vyrostlice pyroxenu o délce až 0,3 mm mají ve střední části zrna sektorovou zonálnost (obr. 2b) a na okraji se často vyskytují mladší přírůstkové



Obr. 3: Chemické složení spinelidů z lokalit Příluky (DH 49) a Choryně (DH6c) znázorněné v diagramech: (a) trojúhelníkový diagram  $\text{Fe}^{3+}$ -Cr- Al; (b)  $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+} + \text{Cr} + \text{Al})$  vs.  $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$  diagram, (c-d) tektonické diskriminační diagramy  $\text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al})$  vs.  $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$  pole podle Barnes - Roeder (2001) a  $\text{Al}_2\text{O}_3$  vs.  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$  [pole suprasubdukčních a MORB peridotitů podle Kamenetsky et al. (2001)]. Diagramy c-d ukazují chemické složení jádra spinelových zrn.

Fig. 3: Chemical composition of spinelides from locality Příluky (DH 49) and Choryně (DH6c) plotted on: (a) triangular  $\text{Fe}^{3+}$ -Cr-Al plot; (b)  $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+} + \text{Cr} + \text{Al})$  vs.  $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$  plot; (c)  $\text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al})$  vs.  $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$  fields after Barnes - Roeder (2001); and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  vs.  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$  tectonic discrimination diagrams [fields for suprasubduction zone and MORB peridotites after Kamenetsky et al. (2001)]. Plots c-d show chemical composition of the core of spinelide grains.

zóny s oscilační zonálností. Střední část zrna chemicky odpovídá diopsidu ( $X_{Mg} = 0,68-0,78$ ;  $Ti = 0,06-0,16$  apfu;  $Na = 0,02-0,03$  apfu) a okraje mají složení egirín-augitu až egirínu ( $X_{Mg} = 0,00-0,12$ ;  $Ti = 0,03-0,13$  apfu;  $Na = 0,51-0,98$  apfu). Jako hojný akcesorický minerál se vyskytuje automorfní až hypautomorfní spinelid. Jeho zrna vykazují jednoduchou zonálnost. Chromový spinel (obr. 3a–d) ve středu je lemován tenkou zónou tvořenou magnetitem až hliníkem bohatým magnetitem. Drobná zrna titanem bohatého magnetitu bývají nahrazena leukoxenem. Jehlicovité krystalky fluorapatitu ( $F = 1,84-2,22$  hmot. %) mají relativně vysoký obsah SrO ( $0,54-0,72$  hmot. %) a REE (např.  $La_2O_3 = 0,22-0,38$  hmot. %).

V okolí vystupují jílovce, které obsahují tufové polohy a místy dokonce úlomky granulátových láv (Krejčí et al. 1999). Makroskopicky jsou tufové polohy tmavě šedočerné jemnozrné horniny s bílými žilkami kalcitu bez zřetelné vrstevnatosti. Vzorek obsahuje zrna a agregáty pyritu. Granulátový tuf obsahuje úlomky bazaltu promíšené s útržky karbonátového prachovce. Kontakt mezi útržky hydrotermálně alterované lávy a sedimenty je neostrý. Úlomky lávy mají hyaloofitickou strukturu a skládají se z plagioklasu, skla a opakních minerálů (pravděpodobně pyrit a hematit). Sklo je z velké části nahrazeno směsí chloritů a kalcitu. Vzácně se objevují větší xenokrysty křemene. Dutiny jsou vyplněny převážně vějířovitými agregáty chloritu a jemně zrnitým kalcitem. Jako běžný akcesorický minerál se objevuje pyrit. Jílovec je tvořen směsí jílových minerálů, křemene a karbonátů.

Východně od obce Němetice vystupují zvětřalé pikrity až pikritické bazalty v podobě drobných výchozů a volných úlomků rozptýlených v ornici. Pikritické bazalty jsou drobně zrnité horniny s četnými kalcitovými mandlemi. Původně měla hornina hyaloofitickou stavbu, ale dnes je sklo nahrazeno směsí chloritů, jílových minerálů a alkalických živců. Vyrostlice tmavých minerálů (olivín a pyroxen) jsou dnes pseudomorfovány kalcitem.

## Diskuze

Vyrostlice pyroxenů jsou z velké části chemicky relativně homogenní a odpovídají diopsidu. Často vykazují nevýraznou oscilační zonálnost a někdy je patrná sektorová zonálnost. Hovorka a Spišiak (1988) předpokládají, že vyrostlice pyroxenů v horninách těšínit-pikritové asociace vznikly ve dvou etapách. Během první etapy krystalovala jádra pyroxenů v podmínkách svrchního pláště nebo spodní kůry. Tato jádra nebyla ve studovaných vzorcích pozorována. Většina pyroxenu ve studovaných vzorcích rostla během výstupu magmatu ve svrchní části kůry. Sektorová zonálnost potvrzuje, že pyroxeny vznikly v podmínkách velmi rychlého ochlazení taveniny za relativně nízkých tlaků (Leung 1974). V oscilačně zonálních diopsidických pyroxenech s úbytkem Mg (obr. 2b) roste obsah Ti (až  $0,16$  apfu), Al (až  $0,09$  apfu) a Mn (až  $0,05$  apfu). Mírné rozdíly v obsazích těchto prvků můžeme pozorovat také v různých sektorech.

Během závěrečných fází krystalizace došlo v některých monchiquitech a pikritech ke změně v chemickém složení rostoucího pyroxenu. Místo diopsidu začal

krystalovat egirín-augit (obr. 1a–b), což se v pyroxenech projevovalo nárůstem poměru  $Fe/(Fe+Mg)$  a růstem obsahu Na a  $Fe^{3+}$ . K změně složení (obr. 2a) dochází v důsledku substituce  $Ca_{-1}(Fe^{2+},Mg)_{-1}Na_{-1}Fe^{3+}_{-1}$ . Někteří autoři tento vývoj chemického složení spojují se změnou fugacity kyslíku v tavenině (Nash – Wilkinson 1970, Larsen 1976). Anderson (1974) naopak předpokládá, že k tomu dochází v důsledku změny poměru Na/Ca v tavenině. V případě studovaných hornin může jít o kombinaci obou faktorů. Studium fluidních inkluzí z těšínitů v této oblasti (lokality Tichá) potvrdilo, že v závěrečných fázích krystalizace koexistovaly magmatické minerály s fluidy s vysokou salinitou a s vysokým obsahem NaCl (Dolníček et al. in tisku). Avšak to patrně nebyl hlavní důvod změny chemického složení pyroxenů. Magma se totiž během závěrečných fází výstupu k povrchu patrně dostávalo do kontaktu s mořskou vodou nebo s hydrotermálními roztoky generovanými ze sedimentů nasycených vodou. To patrně způsobilo zvýšení fugacity kyslíku v tavenině. Tuto teorii podporuje také zjištění, že v některých vzorcích po pyroxenech následuje krystalizace amfibolu. Přítomnost amfibolu naznačuje vzrůst parciálního tlaku vody (Bailey 1969) v závěrečných stádiích krystalizace taveniny.

Chemické složení chromového spinelu ( $Al = 0,99-1,21$  apfu,  $Cr = 0,51-0,71$  apfu,  $Ti = 0,03-0,04$  apfu) je podobné jako složení spinelidů (obr. 3a–d) vázaných na horniny oceánské kůry (MORB bazalty a peridotity). Chromový spinel začal krystalovat z magmatu patrně poměrně brzy, protože je uzavírán ve většině hlavních horninotvorných minerálů. Vývoj chemického složení v nealterovaných částech zrn chromového spinelu ( $Cr-Al$  trend, obr. 3c) bývá vysvětlován jako výsledek reekvibrace spinelidů s taveninou během krystalizace (Roeder – Reynolds 1991). Okraj zrn spinelidů se svým chemickým složením blíží magnetitu. Hranice této zóny jsou neostré a směrem k okraji zrna roste obsah Ti ( $0,16-0,28$  apfu) a poměr  $X_{Fe}$ . Okrajová zóna začala vznikat buď v závěrečných fázích krystalizace, případně až během postmagmatické alterace horniny. Pravděpodobně tyto přeměny začaly už v závěrečných stádiích magmatické krystalizace v době, kdy vznikal egirínový pyroxen, protože magnetitové lemy kolem zrn uzavřených v pseudomorfózach po tmavých minerálech mají průměrně menší mocnost než ty kolem zrn v základní hmotě.

Ve většině vzorku najdeme kromě spinelu také zrna titanem bohatého magnetitu. Tento minerál často obsahuje inkluze ilmenitu, které vznikly během oxidace a chladnutí. Ilmenit se odmíslil v důsledku reakce:  $6Fe_2TiO_4 + O_2 = 6FeTiO_3 + Fe_3O_4$  (Haggerty 1991).

K nejrozsáhlejším alteracím vulkanitů patrně docházelo těsně po jejich výlevu. Probíhala intenzivní chloritizace a serpentinizace. Rozpadem tmavých minerálů také vznikal novotvořený magnetit (Buriánek – Skácelová 2007). Během nízkoteplotní alterace titanem bohatých magnetitů a silikátů s obsahem Ti (pyroxen, olivíny?) vznikají velmi jemnozrné směsi minerálních fází bohatých Ca a Si složené hlavně z titanitu, magnetitu a karbonátu. Dále docházelo k rozpadu bazických živců, z nichž vznikal albit a některé zeolity. Vápník uvolněný při těchto přeměnách migroval

v roztocích a často se srážel v podobě karbonátů, které někdy částečně vyplnily pseudomorfózy po olivínu nebo pyroxenu. V pozdějších fázích se na alteraci mohly výrazně podílet externě derivované roztoky. Naznačuje to studie hydrotermálních žil, které proráží pikrity na lokalitě Choryně (Urubek – Dolníček 2009). Podle zmíněných autorů jsou hydrotermální žíly a mandle produktem krystalizace z fluid generovaných při diagenězi okolních sedimentů.

### Závěry

Studované horniny tvořily synsedimentární podmorské výlevy často provázené pyroklastiky nebo intrudovaly do sedimentů v podobě žil a drobných těles. Někdy se střídaly polohy láv a pyroklastik. Velmi často tvoří tufitický materiál příměs v okolních sedimentech (tufitické vápence, jílovce a pískovce). Pyroklastika měla buď charakter lapilových až popelových tufů s výrazným obsahem skla nebo se jednalo o lapilové tufy s drobnými bombičkami. Místa vznikaly aglomerátové lávy případně granulátové lávy a někdy se zachovaly polohy polštářových („pillow“) láv.

Během závěrečných stadií krystalizace magma reagovalo s vodou, což mohlo ovlivnit fugacitu kyslíku ve zbytkové tavenině. Při kontaktu s mořskou vodou nebo mořskými sedimenty došlo k prudkému zchlazení, a proto na okrajích lávových proudů nacházíme horniny s výrazným podílem skla.

Během chladnutí láv docházelo k sekundárním přeměnám v důsledku interakce s okolní mořskou nebo diagenetickou vodou a většina vulkanického skla společně s některými minerály (olivín, plagioklas) podlela intenzivní alteraci. Vznikaly tak sekundární hořčíkem bohaté minerály jako jsou chlority a minerály serpentínové skupiny. Velmi často krystaloval také kalcit, který částečně zaplnil některé pseudomorfózy po olivínu a pyroxenu. Horniny mnohdy obsahovaly dutiny po plynech, které jsou dnes druhotně vyplněny. Mandle jsou maximálně několik mm velké a tvořené většinou kalcitem, chloritem; někdy je přítomen prehnit, křemen a chalcedon.

Nové výzkumy potvrdily velký vliv hydrotermální alterace na minerální asociaci studovaných vulkanitů. Většina vulkanických hornin skupiny monchiquit-pikrit obsahuje jen zbytky původních magmatických minerálů. V důsledku hydrotermálních alterací a zvětrávání v některých případech zcela zmizely magmatické minerály a hornina se změnila na směs jílových minerálů, chloritů, křemene, albitu, zeolitů a karbonátů.

### Poděkování

*Autor děkuje Z. Dolníčkovi a A. Přichystalovi za kritické pročtení rukopisu. Práce byla vypracována s finanční podporou projektu ČGS 390004 (Základní geologické mapování Beskyd v měřítku 1 : 25 000).*

## Literatura

- Anderson, J. G. (1974): The Geology of Alángorssuaq, northern Nunarssuit complex, South Greenland. – MS, PhD thesis, University of Aberdeen, UK.
- Bailey, D. K. (1969): The stability of acmite in the presence of H<sub>2</sub>O. – *Amer. J. Sci.*, 267A, 1–16.
- Barnes, S. J. – Roeder, P. L. (2001): The Range of Spinel Compositions in Terrestrial Mafic and Ultramafic Rocks. – *J. Petrol.*, 42, 12, 2279–2302.
- Buriánek, D. – Skácelová, Z. (2007): Význam magnetické susceptibilitě pro geologické mapování hornin těšínitové asociace na listu 1:25 000 Starý Jičín (25-124). – *Geol. Výzk. Mor. Slez.* v roce 2006, 14, 62–65. Brno.
- Dolníček, Z. – Kropáč, K. – Uher, P. – Polách, M. (v tisku) Mineralogical and geochemical evidence for multi-stage origin of mineral veins hosted by teschenites at Tichá, Outer Western Carpathians, Czech Republic. *Chemie der Erde – Geochemistry*, In Press, Corrected Proof.
- Dostal, J. – Owen, J. V. (1998): Cretaceous alkaline lamprophyres from northeastern Czech Republic: geochemistry and petrogenesis. – *Geol. Randsch.*, 87, 1, 67–77.
- Droop, G. T. R. (1987): A general equation for estimating Fe<sup>3+</sup> in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analysis, using stoichiometric criteria. – *Mineral. Mag.*, 51, 431–437.
- Hovorka, D. – Spišiak, J. (1988): Mezozoický vulkanizmus Západných Karpát. – Veda, 263 str. Bratislava.
- Kamenetsky, V. – Crawford, A. J. – Meffre, S. (2001): Factors controlling chemistry of magmatic spinel: an empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks. – *J. Petrol.*, 42, 655–671.
- Krejčí, O. – Adamová, M. – Bubík, M. – Fojt, B. – Přichystal, A. – Švábenická, L. (1999): Geologická stavba slezské a podslezské jednotky v řečišti Bečvy u Choryně po odkrytí během povodně v roce 1997. – *Geol. Výzk. Mor. Slez.* v r. 1998, 59–65. Brno.
- Kretz, R. (1983): Symbols for rock-forming minerals. – *Amer. Mineral.*, 68, 277–279.
- Larsen, L. M. (1976): Clinopyroxenes and coexisting mafic minerals from the alkaline Ilímaussaq intrusion, South Greenland. – *J. Petrol.*, 17, 258–290.
- 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, D. C. – Stephenson, N. C. N. – Ungaretti, L. – 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. – *Eur. J. Mineral.*, 9, 623–651.
- Leung, I. S. (1974): Sector zoned titanogites: morphology, crystalchemistry and growth. – *Am. Mineral.*, 59, 127–138.
- Lucińska-Anazkiewicz, A. – Villa, I. M. – Anazkiewicz, R. – Ślaczka, A. (2002): <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar dating of alkaline lamprophyres from the Polish Western Carpathians. – *Geol. Carpath.*, 53, 45–52.
- Menčík, E. – Adamová, M. – Dvořák, J. – Dudek, A. – Jetel, J. – Jurková, A. – Hanzlíková, E. – Houša, V. – Paslová, H. – Rybářová, L. – Šmíd, B. – Šebesta, J. – Tyráček, J. – Vašíček, Z. (1983): Geologie Moravskoslezských Beskyd a Podbeskydské pahorkatiny. – Ústř. Úst. geol. 304 str. Praha.
- Morimoto, N. – Fabries, J. – Ferguson, A. K. – Ginzburg, I. V. – Ross, M. – Seifert, F. A. – Zussman, J. – Aoki, K. (1988): Nomenclature of pyroxenes. – *Mineral. Mag.* 52, 535–550.
- Nash, W. P. – Wilkinson J. F. G. (1970): Shonkin Sag laccolith, Montana. I: Mafic minerals and estimates of temperature, pressure, oxygen fugacity and silica activity. – *Contrib. Mineral. Petrol.* 25, 241–269.
- Rock, N. M. S. (1987): The nature and origin of lamprophyres: an overview. Geological Society, London, Special Publications, 30(1), 191–226.
- Roeder, P. L. – Reynolds, I. (1991): Crystallization of chromite and chromium solubility in basaltic melts. – *J. Petrol.*, 32, 909–934.
- Schumacher, J. C. (1997): Appendix 2: the estimate of ferric iron in electron microprobe analysis of amphiboles. – *Can. Mineral.*, 35, 238–246.
- Šmíd, B. (1978): Výzkum vyvřelých hornin těšínitové asociace. – MS, zprávy Sb. 835, I. a II díl. Archiv ČGS. Brno.
- Urubek, T. – Dolníček, Z. (2009): Hydrotermální mineralizace v jílových lhoteckého souvrství u Choryně (slezská jednotka, Vnější Západní Karpaty). – *Geol. výzk. Mor. Slez.*, 81–84, Brno.