ISSN 1211-8796

Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.
CX (2025): 2, 373–396, 2025

MINERÁLY Cr, V, Ni A Co V BAZICKÝCH A ULTRABAZICKÝCH HORNINÁCH Z LOMU POHLED U HAVLÍČKOVA BRODU (MOLDANUBIKUM ČESKÉHO MASIVU)

MINERALS CONTAINING Cr, V, Ni AND Co IN BASIC AND ULTRABASIC ROCKS FROM THE POHLED QUARRY NEAR HAVLÍČKŮV BROD (MOLDANUBIAN AREA OF THE BOHEMIAN MASSIF, CZECH REPUBLIC)

ZDENĚK DOLNÍČEK, ROSTISLAV KOUTŇÁK, MICHAELA KREJČÍ KOTLÁNOVÁ

Abstract

Dolníček, Z., Koutňák, R., Krejčí Kotlánová, M., 2025: Minerály Cr, V, Ni a Co v bazických a ultrabazických horninách z lomu Pohled u Havlíčkova Brodu (moldanubikum Českého masivu). – Acta Musei Moraviae, Scientiae geologicae, 110, 2, 373–396 (with English summary).

Minerals containing Cr, V, Ni and Co in basic and ultrabasic rocks from the Pohled quarry near Havlíčkův Brod (Moldanubian area of the Bohemian Massif, Czech Republic)

Granitic pegmatites and hydrothermal veins occurring in the Pohled quarry (Moldanubian area of the Bohemian Massif) contain elevated contents of Cr, V, Co, and Ni although they are hosted by granites and paragneisses with low concentrations of these elements. Therefore, it was hypothesized that these elements could have been sourced from basic and ultrabasic rocks forming small xenoliths (dunite, serpentinite, hornblendite, a garnetic metaultramafite) or up to 10 m thick lenticular bodies ("amphibolite") enclosed in paragneisses of the Pohled quarry. We studied these rocks mineralogically with an emphasis to mineral phases containing the above-mentioned transitional metals. A wide suite of accessory minerals containing Cr, Co, and Ni as major constituents was identified: chromspinelides (spinel, chromite), maucherite, nickeline, pentlandite, violarite, polydymite, cobaltite, millerite, and westerveldite. In addition, these elements and/or V are minor constituents of silicate minerals (garnet, clinopyroxene, amphiboles, olivine, talc, phlogopite, chlorite, titanite), oxide minerals (magnetite, ilmenite), as well as common sulfides (monoclinic and hexagonal pyrrhotite). The results confirm that these ultramafic rocks really could act as a fertile source of Cr, Ni, and Co for pegmatite and hydrothermal processes in the area of the Pohled quarry. In contrast, the possible source of V remains questionable, because V is present in small concentrations in a small number of minerals only (up to 0.35 wt. % V_2O_3, mainly in titanite and chromspinelides) in the studied rocks.

Key words: Moldanubian, Pohled quarry, basic and ultrabasic rocks, accessory ore minerals, Cr spinels, chromite, maucherite.

Zdeněk Dolníček, Department of Mineralogy and Petrology, National Museum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9-Horní Počernice; e-mail: zdenek.dolnicek@nm.cz

Rostislav Koutňák, Bezručova 1168, 765 02 Otrokovice

Michaela Krejčí Kotlánová, Research Institute for Building Materials, Hněvkovského 30/65, 617 00 Brno

ÚVOD

Činný lom Pohled se nachází v severní části Českomoravské vrchoviny, mezi Havlíčkovým Brodem a Přibyslaví, v severovýchodní části moldanubické oblasti Českého masivu.

Lomem je odkryta poměrně pestrá horninová asociace na kontaktu drobné granitoidní intruze tzv. pohledské žuly a hostitelských katazonálních metamorfitů moldanubika. Metamorfované horniny jsou představovány zejména různě intenzivně migmatitizovanými biotitickými či sillimanit-biotitickými pararulami (Mastíková 2009). Ve východní části lomu obsahují ruly ojedinělé až 10 m mocné vložky metabazitu, tradičně (např. Welser a Záruba 2004; Mastíková 2009; Dolníček *et al.* 2024) označovaného jako amfibolit. Vzácné jsou výskyty drobných (velikost v jednotkách až prvních desítkách cm) xenolitů ultramafických hornin, často s charakteristickým reakčním lemem po obvodu. Petrograficky jsou tyto horniny popisovány jako dunity, hornblendity, eklogity, pyroxenity a serpentinity (Turek 2006, 2008; Mastíková 2009; Dolníček, subm.). Do metamorfní horninové sekvence intrudovalo postkinematické těleso pohledské žuly, jež je považováno za apofýzu centrálního moldanubického plutonu. Petrograficky jde o biotitický granodiorit (René a Dolníček 2023) a jeho vmístění bylo provázeno migmatitizací okolních metamorfitů a také vznikem žil a hnízd aplitů a pegmatitů.

Lom Pohled je i významnou mineralogickou lokalitou, známou zejména výskytem rudních žil typu *k-pol* (ve smyslu Bernarda 1981) se Zn-Pb(-Ag) mineralizací (Hak a Johan 1961; Dobeš a Malý 2001; Mastíková 2009, 2011; Kadlec 2018). Mineralogicky zajímavé jsou zde i alpské žíly (Mastíková, 2011; Pauliš *et al.*, 2013; Havlíček *et al.*, 2018; Kadlec *et al.* 2018). Vzácněji se v lomu vyskytují i méně běžné typy hydrotermálních žil, např. s palygorskitem (Mastíková 2009, 2011), karbonáty dolomit-ankeritové řady (Mastíková 2009, 2011), molybdenitem (Dolníček *et al.* 2023), či wolframitem a scheelitem (Dolníček *et al.* 2024). Tělesa pegmatitů sice nejsou příliš zajímavá z pohledu sběratelského, ale jsou mineralogicky poměrně pestrá v mikroměřítku, a to zejména díky mladším hydrotermálním alteracím a s nimi spojeným přínosem rudních prvků (Dolníček *et al.* 2020, 2021).

Značný nárůst poznatků o mineralogii různých typů mineralizací (hydrotermálních žil a pegmatitů) z lomu Pohled, zaznamenaný v posledních letech, přinesl i zjištění o vcelku běžné přítomnosti některých tranzitních kovů (Co, Ni, Cr a V) v těchto mineralizacích. Tyto prvky představují jak minoritní příměsi, tak i hlavní komponenty některých minerálních fází. V pegmatitech byly zjištěny vysoké obsahy Cr a V v granátu grosulárového složení, jenž obsahoval 13–25 mol. % goldmanitové (V) komponenty a 12–24 mol. % uvarovitové (Cr) komponenty (Dolníček *et al.* 2020). Vedle toho byly malé obsahy V a/nebo Cr (obvykle první desetiny hm. % jejich oxidů) zaznamenány i v některých dalších minerálech (allanit, chlorit, amfibol, biotit, ilmenit, anatas, titanit). Kobalt a nikl jsou v pohledských pegmatitech vázány hlavně v kobaltinu, gersdorffitu, arzenopyritu, glaukodotu, löllingitu, pyritu a thiospinelech (siegenitu, violaritu, grimmitu a nepojmenovaném $NiFe_2S_4$), v nichž se tyto prvky vyskytují v koncentracích v řádu jednotek až desítek hm. % (Dolníček *et al.* 2021). Malé obsahy byly dále zaznamenány v pyrhotinu (Co, Ni), sfaleritu (Co, Ni) a chloritu (Ni). Na hydrotermálních rudních žilách (s mineralizací Zn-Pb, Mo a W) jsou vysoké obsahy Co a Ni vázány v kobaltinu, arzenopyritu, gersdorffitu a violaritu, zatímco malé příměsi byly zaznamenány v pyrhotinu, pyritu, chalkopyritu a chloritu (Mastíková, 2009, 2011; Dolníček *et al.* 2023, 2024). Malé obsahy V a Cr byly na hydrotermálních rudních žilách zjištěny v TiO_2 fázích, titanitu, muskovitu a chloritu (Dolníček *et al.* 2023, 2024).

Bohatá parageneze a vcelku běžný výskyt (i když jen v akcesorickém množství) minerálů obsahujících Co, Ni, Cr a V je v daném hostitelském horninovém prostředí, reprezentovaném hlavně rulami a granity, do určité míry překvapením. Chemické analýzy nealterovaných granitů a rul (Doleželová 2015; René a Dolníček 2023 a nepublikovaná data Z.D.) potvrdily nízké koncentrace zájmových prvků v těchto horninových typech a jen nepatrné změny v jejich obsazích v alteračních zónách kolem Zn-Pb rudních žil, charakterizované nejen malým snížením, ale v některých případech dokonce i mírným zvýšením jejich obsahů (Doleželová 2015). Tyto poznatky jsou v souladu s předpokladem, že zmíněné majoritní horninové typy nebyly hlavním zdrojem daných kovů pro hydrotermální roz-

toky. V předchozích pracech (Dolníček *et al.* 2020, 2021, 2023, 2024) byl tedy vysloven názor o původu Co, Ni, Cr a V v bazických a ultrabazických horninách, jež jsou minoritní složkou horninového prostředí lomu Pohled. Vzhledem k minimální prozkoumanosti těchto typů hornin (viz níže) je však tato hypotéza zatím jen velmi málo podložena konkrétními daty.

Motivací tohoto příspěvku je posunout řešení tohoto problému a zaplnit zmíněnou mezeru v dosavadních znalostech. Proto jsme provedli podrobnější studium několika vzorků bazických a ultrabazických hornin z lomu Pohled pomocí elektronové mikrosondy za účelem bližší charakterizace jejich nositelů Ni, Co, Cr a V. Výsledky studia předkládáme v tomto příspěvku.

PŘEHLED DOSAVADNÍCH POZNATKŮ

Bazické a ultrabazické horniny se v lomu Pohled vyskytují v podobě drobných xenolitů několikacentimetrové až několikadecimetrové velikosti (dunit, pyroxenit, hornblendit, eklogit, serpentinit) uzavřených v rulách, ojedinělé jsou (pouze na nejvyšší etáži ve východní části lomu) větší čočky (mocnost až 10 m) tvořené horninou tradičně označovanou jako amfibolit. Detailnějších poznatků je k těmto horninovým typům publikováno minimum.

Turek (2006, 2008) blíže studoval dvě drobné uzavřeniny v rulách. Jedna petrograficky odpovídala dunitu, druhá hornblenditu. Práce jsou doplněny i orientačními mikrosondovými analýzami některých minerálních fází. V dunitu autor zaznamenal slabě zvýšené obsahy Ni v olivínu a vysoké obsahy Cr a malé koncentrace V v chromem bohatém spinelidu, zatímco v hornblenditu byly analyticky doloženy malé obsahy Cr v Ca-amfibolech a granátu (Turek 2008). Věrohodnost a další využitelnost dat (zejména datově bohatší diplomové práce z r. 2008) bohužel snižuje řada chyb – analýzy antofylitu jsou deklarovány jako pyroxeny, analýzy chromem bohatého spinelidu s hodnotami $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ = 0,18–0,38 autor klasifikuje jako magneziochromit, vápenaté amfiboly autor nepřesně klasifikuje bez rozpočtu valencí Fe.

V serpentinitu nalezla Mastíková (2009) při optickém studiu výbrusu chromit. Identita minerálu však nebyla ověřena analyticky.

Texturně zajímavý xenolit částečně uralitizovaného a symplektitizovaného granátem bohatého metaultramafitu, jehož primární asociace byla tvořena granátem, klinopyroxenem, titanitem a akcesorickým ilmenitem, nikelínem a sulfidy, nejnověji popisuje Dolníček (subm.), včetně výsledků studia chemického složení přítomných minerálů pomocí mikrosondy. Vysoké obsahy Ni a Co byly v této hornině zaznamenány v nikelínu a pentlanditu, malé příměsi v pyrhotinu. Malé obsahy Cr a V byly zaznamenány v granátu, klinopyroxenu a amfibolech, malé obsahy V v titanitu a ilmenitu (Dolníček subm.).

METODIKA

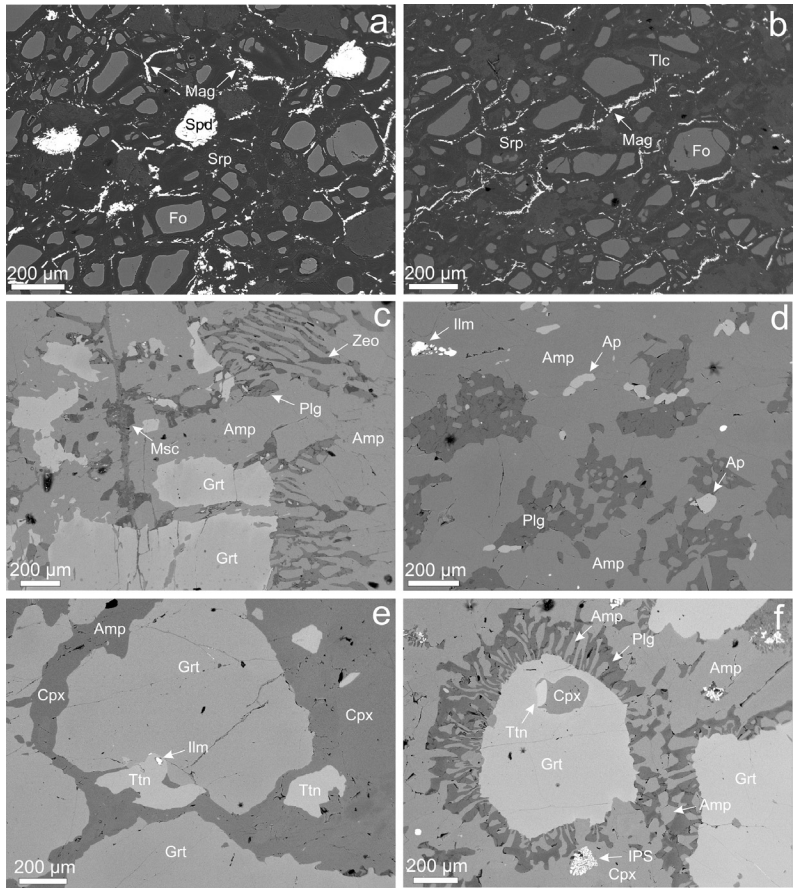
Vzorky nově studované v této práci byly odebrány autory v lomu v roce 2024. Z odřezků vzorků, oddělených diamantovou pilou, byly zhotoveny standardní zalévané naleštěné preparáty (nábrusy) o průměru 2,5 cm (P. Sečkár, Komenského univerzita Bratislava). Prvotní dokumentace zhotovených preparátů v odraženém polarizovaném světle byla provedena na polarizačním mikroskopu Nikon Eclipse ME600 vybaveném digitální kamerou Nikon DXM1200F.

Následně byly nábrusy vakuově napařeny uhlíkovou vrstvou o tloušťce 30 nm a studovány na elektronové mikrosondě Cameca SX-100 (Národní muzeum, Praha). Na přístroji byly pořízeny snímky ve zpětně odražených elektronech (BSE), provedena identifikace jednotlivých fází pomocí energiově disperzních (EDS) spekter a kvantitativně měřeno chemické složení vybraných fází ve vlnově disperzním (WDS) modu. Měření oxidických a silikátových minerálů probíhalo při urychlovacím napětí 15 kV, proudu svazku 20 nA (granát,

ilmenit, spinelidy, titanit) či 10 nA (olivín, pyroxeny, amfiboly, mastek) a průměru elektronového svazku 0,7–2 μm. V ilmenitu a spinelidech byly měřeny obsahy Al, Ca, Co, Cr, Fe, Mg, Mn, Ni, P, S, Sb, Si, V a Zn, v granátu Al, Ca, Cr, F, Fe, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Sb, Si, Sn, Ti, U, V, Y, Zn a Zr, v titanitu Al, Ca, Ce, F, Fe, Hf, La, Mg, Na, Nb, Nd, P, Pb, Pr, Sc, Si, Sn, Ta, Ti, U, V, W, Y a Zr, v olivínu, pyroxenech, mastku a amfibolech Al, Ba, Ca, Cl, Cr, F, Fe, K, Mg, Mn, N, Na, Ni, P, Pb, Si, Sr, Ti, V a Zn. Při analýzách byly použity následující standardy a analytické čáry: Al_2O_3 (Al*K*α), albit (Na*K*α), almandin (Al*K*α, Fe*K*α, Si*K*α), antimonit (Sb*L*α), apatit (P*K*α, Ca*K*α), baryt (Ba*L*β), BN (N*K*α), celestin (S*K*α, Sr*L*β), $CePO_4$ (Ce*L*α), Co (Co*K*α), Cr_2O_3 (Cr*K*α), $CrTa_2O_6$ (Ta*L*α), diopsid (Mg*K*α), halit (Cl*K*α), Hf (Hf*M*α), chalkopyrit (Cu*K*α), $LaPO_4$ (La*L*α), LiF (F*K*α), Nb (Nb*L*α), $NdPO_4$ (Nd*L*β), Ni (Ni*K*α), $PrPO_4$ (Pr*L*β), rodonit (Mn*K*α), sanidin (Al*K*α, K*K*α, Si*K*α), scheelit (W*L*α), $ScVO_4$ (Sc*K*α), Sn (Sn*L*α), TiO_2 (Ti*K*α), UO_2 (U*M*α), V (V*K*α), vanadinit (Pb*M*α), wollastonit (Ca*K*α, Si*K*α), YVO_4 (Y*L*α), zinkit (Zn*K*α) a zirkon (Zr*L*α). Data byla automaticky korigována na overlapy P-Ca, Ti-V a V-Cr. Sulfidy a arzenidy byly analyzovány při urychlovacím napětí 25 kV, proudu svazku 20 nA a průměru elektronového svazku 0,7 μm. Použité standardy, měřené prvky a analytické čáry: albit (Na*Kα*), Ag (Ag*Lα*), Au (Au*Mα*), baryt (Ba*Lα*), Bi_2S_3 (Bi*Mβ*), CdTe (Cd*Lα*), Co (Co*Kα*), Cr (Cr*Kα*), $CuFeS_2$ (Cu*Kα*, S*Kα*), FeS_2 (Fe*Kα*), GaAs (Ga*Lα*), Ge (Ge*Lα*), HgTe (Hg*Lα*), InAs (In*Lα*), Mn (Mn*Kα*), NaCl (Cl*Kα*), NiAs (As*Lβ*), Ni (Ni*Kα*), PbS (Pb*Mα*), PbSe (Se*Lβ*), PbTe (Te*Lα*), sanidin (K*Kα*), Sb_2S_3 (Sb*Lα*), Sn (Sn*Lα*) a ZnS (Zn*Kα*). Získaná data byla korigována na koincidence P-Ca, Na-Zn, Ag-Cd a Sb-As. Měřící časy na píku se pohybovaly mezi 10 a 30 s, měřící čas každého pozadí trval polovinu času měření na píku. Načtená data byla přepočítána na obsahy prvků vyjádřené v hm. %, s použitím standardní PAP korekce (Pouchou a Pichoir 1985). Obsah kyslíku v kyslíkatých fázích byl dopočten ze stechiometrie. Obsahy výše uvedených prvků, které nejsou uvedeny v níže prezentovaných tabulkách minerálních analýz, byly ve všech případech pod mezí stanovitelnosti (obvykle mezi 0,05 a 0,1 hm. %, v případě F a některých dalších těžších prvků kolem 0,2 hm. %). Použité zkratky minerálů jsou většinou podle Warra (2021).

MINERÁLY Cr, V, Ni A Co V BAZICKÝCH A ULTRABAZICKÝCH HORNINÁCH LOMU POHLED

Detailněji studovány byly dva nově odebrané vzorky serpentinitů, jeden vzorek granátického metaultramafitu a dva „amfibolity“. Oba studované vzorky serpentinitů (Po-89a, Po-89b) vznikly přeměnou olivínem bohatých hornin, čemuž nasvědčují četné relikty tohoto minerálu uložené v základní tkáni s převahou minerálů ze serpentinové skupiny (obr. 1a,b). Dále obsahují v malém množství spinelidy, chlorit a mastek. Dva vzorky považované za amfibolity (Po-90a, Po-90b) byly odebrány z tělesa „amfibolitů“ ve východní části lomu. Makroskopicky měly břidličnatou stavbu a černou barvu. Složeny jsou z převažujícího amfibolu (složením odpovídajícího tschermakitu, magneziohastingsitu a pargasitu), jenž je v obou vzorcích doprovázen ilmenitem a plagioklasem a v jednom vzorku i granátem, Na-Ca zeolitem a apatitem ($Fap_{47-51}Clap_3Hap_{46-49}$). Obsah plagioklasu ($An_{84-95}$) je v hornině jen akcesorický a navíc je tento minerál v obou vzorcích jen sekundárního původu – v amfibol-plagioklasových symplektitech, vzniklých patrně po granátu (obr. 1c,d). Horninu tedy nelze označit jako amfibolit, ale spíše jako (meta)hornblendit. Vzhledem k dochované reliktní stavbě může souviset vznik celého rozměrného tělesa, tradičně označovaného jako amfibolit, a odkrytého ve východní části lomu, s retrográdní uralitizací vysokotlaké granátem bohaté horniny, jakou popisuje Dolníček (subm.). Dořešení geneze uvedeného horninového typu by si zasloužilo detailnější petrologický výzkum. Vzorek symplektitizovaného granátem bohatého (cca 50 mod. % Grt) metaultramafitu (Po-88; obr. 1e,f) je podrobněji charakterizován v samostatném článku (Dolníček, subm.).



Obr. 1: Stavba nově studovaných hornin na BSE snímcích. a,b – serpentinity (a – Po-89a, b – Po-89b) s hojnými relikty forsteritu (Fo) a Cr-bohatými spinelidy (Spd) uzavíranými v minerálech serpentinové skupiny (Srp) a mastku (Tlc). Hranice původních zrn forsteritu jsou zvýrazněny vyloučeninami magnetitu (Mag). c,d – „amfibolity“ (c – Po-90a, d – Po-90b) s převahou amfibolu (Amp) a amfibol-plagioklasovými (Plg) symplektity okolo, respektive po granátu (Grt). Plagioklas je lokálně zatlačován Na-Ca zeolitem (Zeo) či muskovitem (Msc). Ilm – ilmenit. e,f – granátický metaultramafit Po-88 (Dolníček, subm.); e – prakticky nealterovaná partie horniny tvořená granátem, klinopyroxenem (Cpx), titanitem (Ttn) a ilmenitem, s jen minimálním množstvím amfibolu; f – amfibol-plagioklasový symplektit lemující zrno granátu v amfibolem bohatší partii horniny. IPS – ilmenit-pyroxenový symplektit.

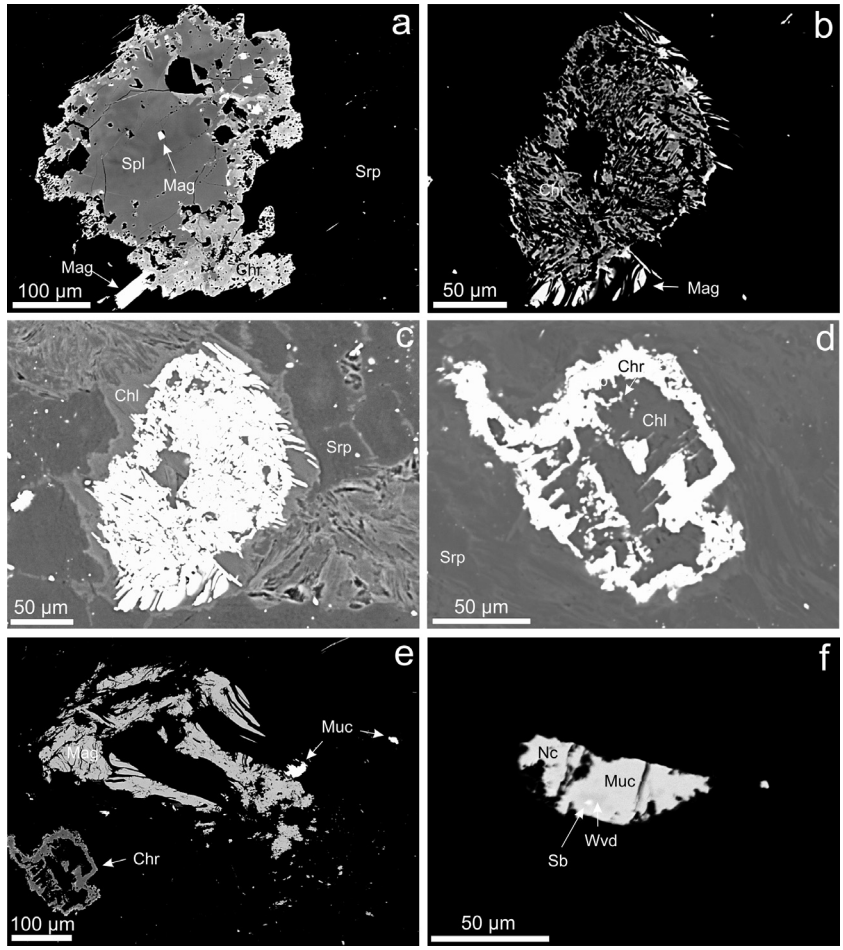
Fig. 1: Fabric of newly studied rocks in BSE images. a,b – serpentinites (a – Po-89a, b – Po-89b) with abundant relics of forsterite (Fo) and Cr-rich spinelides (Spd) enclosed in minerals of the serpentine group (Srp) and talc (Tlc). The original boundaries of forsterite grains are highlighted by magnetite (Mag) precipitates. c,d – “amphibolites” (c – Po-90a, d – Po-90b) with prevailing amphibole (Amp) and amphibole-plagioclase (Plg) symplectite around, or after garnet (Grt). In places, plagioclase is replaced by a Na-Ca zeolite (Zeo) or muscovite (Msc). Ilm – ilmenite. e,f – garnetic metaultramafite Po-88 (Dolníček, subm.); e – almost unaltered portion of the rock composed of garnet, clinopyroxene (Cpx), titanite (Ttn), and ilmenite with only minimum amount of amphibole. f – amphibole-plagioclase (Plg) symplectite rimming a grain of garnet in an amphibole-richer portion of the rock. IPS – ilmenite-pyroxene symplectite.

Následující přehled obsahuje souhrn dostupných informací o minerálech s obsahem zájmových tranzitních kovů v (ultra)bazitech z lomu Pohled. Poněvadž se autorům tohoto příspěvku nepodařilo na lokalitě nově najít vzorky všech v literatuře popisovaných horninových typů, jsou v tomto přehledu využita i data z dříve publikovaných prací. Mikrosondové analýzy prezentované v pracích TURKA (2006, 2008) byly nově přepočítány a na základě získaných hodnot *apfu* byla znovu provedena minerální klasifikace. V případě granátického metaultramafitu studovaného v práci DOLNÍČKA (subm.) jsou v následujícím textu prezentovány i další minerální analýzy, které nebyly publikovány v citovaném článku.

Celkem bylo dosud zjištěno v bazických a ultrabazických horninách lomu Pohled 24 minerálních druhů obsahujících elektronovou mikrosondou detekovatelné koncentrace zájmových tranzitních kovů. Jejich bližší charakteristika je obsahem následujících odstavců.

Spinelidy jsou akcesorickou až vedlejší komponentou serpentinitů (MASTÍKOVÁ 2009; tato práce) a dunitu (TUREK 2008). V dunitu podle TURKA (2008) tvoří jednotlivé krystaly bez patrné zonálnosti a jeho chemické složení odpovídá podle analýz prezentovaných TURKEM (2008) **chromitu** ($Chr_{54-65}Mchr_{7-15}Spl_{4-21}Mag_{3-9}Ghn_{3-6}Glx_{1-2}Usp_{1}$). V serpentinitech jsou naproti tomu přítomny spinelidy dvojího typu, a to jednak spinelidy chromem bohaté, jednak magnetity. Chromem bohaté spinelidy vytvářejí v BSE obraze zřetelně zonální izolovaná jednotlivá zrna o velikosti do 0,3 mm (obr. 1a, 2a). Jejich v BSE obraze tmavá Mg-bohatá jádra nejsou porézní, zatímco světlejší Fe, Cr-bohatší růstová zóna je zřetelně porézní a bývá ještě obrůstána porézním magnetitem (obr. 2a,b). Hořčíkem bohatá jádra často nesou znaky koroze. Ojediněle byly pozorovány i případy, kdy bylo Mg-bohaté jádro spinelidového agregátu již zcela vylouženo a nahrazeno fylosilikáty (zejména chloritem) a z původního spinelidu zůstal zachován jen vnější chromitový a magnetitový lem (obr. 2c,d). Chemické složení Cr-bohatých spinelidů (tab. 1) klasifikačně kolísá mezi chromitem ($Chr_{47-73}Mchr_{1-11}Spl_{7-46}Mag_{0-24}Hc_{0-8}Ghn_{1-7}Glx_{1-2}Usp_{0-1}$) a chromem bohatým **spinelem** ($Spl_{49-56}Chr_{37-48}Mchr_{0-6}Mag_{0-1}Hc_{0-5}Ghn_{0-1}Glx_{0-1}$), přičemž chromitovou komponentou dominantní složení značně převažují (obr. 3, 4a). Spinelovou komponentou jsou nejbohatší jádra krystalů a směrem k jejich okraji narůstá obsah chromitové složky. Chromem bohaté spinelidy z lokality Pohled se vyznačují pozitivními korelacemi mezi obsahy Cr a Mn (obr. 4b) a Zn a Mn (obr. 4c) a negativními korelacemi mezi obsahy Zn a Mg a Cr a Mg (obr. 4d). V malém množství obsahují Cr-bohaté spinelidy i V (0,003–0,008 *apfu*), ve většině analýz i Co (do 0,004 *apfu*) a v malé části i Ni (do 0,004 *apfu*). Průměrný (n = 52) empirický vzorec chromitu z lomu Pohled (báze přepočtu 4 atomy kyslíku a 3 kationty na vzorcovou jednotku) je $(Fe^{2+}_{0,63}Mg_{0,33}Zn_{0,03}Mn_{0,01})_{\Sigma 1,00}(Cr_{1,22}Al_{0,70}Fe^{3+}_{0,07}V_{0,01})_{\Sigma 2,00}O_{4,00}$ a průměrný (n = 8) empirický vzorec Cr-bohatého spinelu je $(Mg_{0,53}Fe^{2+}_{0,46}Zn_{0,01})_{\Sigma 1,00}(Al_{1,07}Cr_{0,92}V_{0,01})_{\Sigma 2,00}O_{4,00}$. **Magnetit** vytváří jak vnější porézní lem kolem Cr-spinelidů (obr. 2a,b), tak i samostatná drobná nepravidelná zrna a jejich agregáty, vtroušené v minerálech serpentinové skupiny (obr. 1a,b, 2e). Druhý texturní typ charakteristicky zvýrazňuje obrysy zrn původních (dnes zčásti či zcela serpentinizovaných) zrn olivínu (obr. 1a, b). V chemickém složení magnetitu zpravidla velmi výrazně převažuje koncový člen ($Mag_{89-99}Mfr_{0-8}Hc_{0-2}Chr_{0-2}$), vyjma jedné analýzy z lemu u jádra Cr-spinelidu, která je výrazně bohatší prvky typickými pro Cr-bohaté spinelidy (zejména Cr, Mg, Al; analýza č. 14 v tab. 1). Běžně zjišťované zvýšené rozkolísané obsahy Si v magnetitu padají velmi pravděpodobně na vrub heterogenních vrostlic silikátů v jemně porézním magnetitu, případně silikátů z okolí (u velmi malých zrn magnetitu). Průměrný (n = 7) empirický vzorec Si-nejchudšího magnetitu ze serpentinitu z lomu Pohled (báze přepočtu 4 atomy kyslíku a 3 kationty na vzorcovou jednotku) je $(Fe^{2+}_{0,96}Mg_{0,04})_{\Sigma 1,00}(Fe^{3+}_{1,95}Al_{0,02}Cr_{0,01}Si_{0,01})_{\Sigma 1,99}O_{4,00}$.

Maucherit je akcesorickým minerálem, zastiženým v obou vzorcích serpentinitů. Vytváří izolovaná izometrická či mírně protažená zrna s hypautomorfním či xenomorfním omezením, uzavřená většinou v minerálech serpentinové skupiny (obr. 2e, f). Zrna dosahují velikosti až 70 μm a v BSE obraze jsou homogenní. Bodové WDS analýzy ukázaly určitou variabilitu v chemismu jak v kationtové, tak aniontové části vzorce (tab. 2).



Obr. 2: Minerální asociace a vývin některých studovaných minerálních fází ze serpentinitu Po-89a na BSE snímcích. a – zonální Cr-bohatý spinelid s jádrem Cr-bohatého spinelu (Spl) a okrajem tvořeným chromitem (Chr) s nárůstem magnetitu (Mag) uzavřeným v minerálech serpentinové skupiny (Srp). b – silně porézní chromit s lemem magnetitu. c – týž objekt s kontrastem upraveným tak, aby byl viditelný Cr-bohatý chlorit (Chl) v jádře a v lemu spinelidu. d – relikt chromitového lemu, jádro spinelidu je zcela nahrazeno chloritem. e – větší agregát magnetitu a inkluze maucheritu (Muc) v sousedství chromitu z předchozího snímku; f – srůst nikelínu (Nc), maucheritu, westervelditu (Wvd) a neidentifikované Sb-bohaté fáze (Sb).

Fig. 2: Mineral assemblage and nature of some studied mineral phases from serpentinite Po-89a on BSE pictures. a – zoned Cr-rich spinelide with core composed of Cr-rich spinel (Spl) and chromite (Chr) margin with an overgrowth of magnetite (Mag), enclosed in minerals of the serpentine group (Srp). b – strongly porous chromite rimmed by magnetite. c – the same object with contrast set to be visible Cr-rich chlorite (Chl) in both core and rim of spinelide. d – a relic of chromite rim, whereas the core of the spinelide is already completely replaced by chlorite. e – a larger aggregate of magnetite and inclusions of maucherite (Muc) in the neighbourhood of chromite from the preceding picture; f – an intergrowth of nickeline (Nc), maucherite, westerveldite (Wvd), and an unidentified Sb-rich phase (Sb).

Tabulka 1. Příklady chemického složení spinelidů (Spl – spinel, Chr – chromit, Mag – magnetit) ze serpentinitů (S) a dunitu (D) z lomu Pohled. Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty *apfu* a rozpočet železa přepočteny na bázi 4 atomů kyslíku a 3 kationtů na vzorcovou jednotku, obsahy koncových členů v mol. %. b.d. – pod mezí stanovitelnosti, F/FM = $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$, C/CA = Cr/(Cr+Al). Analýzy z dunitu jsou převzaty z TURKA (2008).

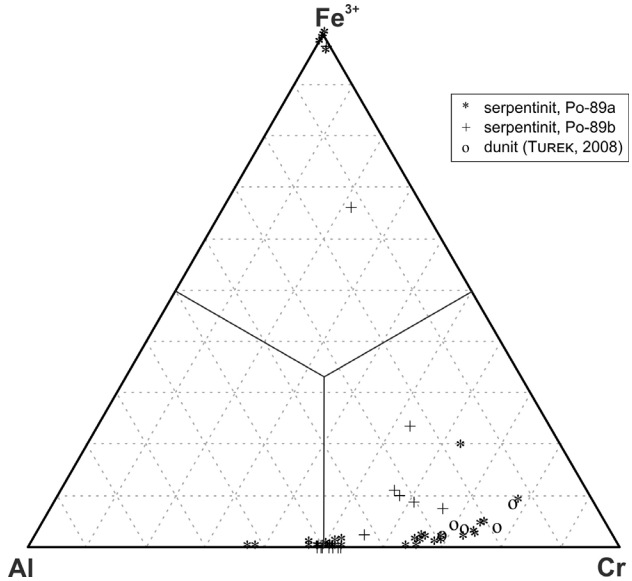
Table 1. Examples of chemical composition of spinelides (Spl – spinel, Chr – chromite, Mag – magnetite) from serpentinites (S) and dunite (D) from the Pohled quarry. Contents of oxides in wt. %, *apfu* values and iron valences are calculated on the basis of 4 atoms of oxygen and 3 cations per formula unit, contents of endmembers in mol. %. b.d. – below detection limit, F/FM = $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$, C/CA = Cr/(Cr+Al). Analyses from dunite are taken from TUREK (2008).

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Vzorek	Po-89a	Po-89b	Po-89b	Po-89a	Po-89a	Po-89a	Po-89a	Po-89a	Po-89a	Po-89b	Turek	Turek	Po-89b	Po-89b
Hornina	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	D	D	S	S
Minerál	Spl	Spl	Spl	Chr	Chr	Chr	Chr	Chr	Chr	Chr	Chr	Chr	Mag	Mag
SiO_2	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,25	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,54	b.d.
TiO_2	b.d.	0,09	0,08	0,07	0,06	b.d.	0,10	0,06	0,07	0,08	0,26	0,20	b.d.	b.d.
Al_2O_3	36,75	28,24	27,70	28,91	26,51	16,55	10,02	10,63	25,48	16,46	6,40	12,86	0,33	5,65
V_2O_3	0,18	0,26	0,26	0,19	0,17	0,21	0,33	0,30	0,15	0,30	0,16	0,13	b.d.	0,11
Cr_2O_3	32,09	40,20	40,52	38,73	41,17	49,37	54,07	54,86	42,59	43,60	54,39	51,81	0,93	14,74
Fe_2O_3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,72	3,46	3,48	1,15	8,21	6,73	3,95	66,69	48,41
MgO	12,91	12,21	10,98	8,81	8,02	6,31	3,41	4,83	9,89	5,36	3,02	5,27	0,71	1,52
MnO	0,18	0,15	0,17	0,25	0,31	0,42	0,51	0,48	0,26	0,44	0,60	0,49	0,05	0,13
FeO	17,40	16,73	18,72	21,58	22,80	22,50	27,23	24,86	19,92	23,45	25,25	23,41	30,56	29,51
CoO	0,11	0,13	0,10	0,08	b.d.	0,10	0,11	b.d.	0,10	0,10			0,09	0,10
NiO	0,10	0,11	b.d.	0,09	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.			b.d.	0,13
ZnO	0,41	0,24	0,24	0,57	0,90	1,81	1,33	1,45	1,02	2,99	1,84	1,95	b.d.	0,24
Celkem	100,13	98,36	98,77	99,28	99,94	98,99	100,83	100,95	100,63	100,99	98,63	100,07	99,90	100,54
Si	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,009	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,021	b.d.
Ti	b.d.	0,002	0,002	0,002	0,001	b.d.	0,003	0,002	0,002	0,002	0,007	0,005	b.d.	b.d.
Al	1,259	1,018	1,005	1,054	0,977	0,650	0,406	0,426	0,927	0,642	0,271	0,512	0,015	0,243
V	0,004	0,006	0,006	0,005	0,004	0,006	0,009	0,008	0,004	0,008	0,004	0,003	b.d.	0,003
Cr	0,737	0,972	0,987	0,947	1,018	1,301	1,472	1,474	1,039	1,141	1,543	1,384	0,028	0,425
Fe^{3+}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,043	0,090	0,089	0,027	0,205	0,182	0,100	1,916	1,329
Mg	0,559	0,557	0,504	0,406	0,374	0,314	0,175	0,245	0,455	0,265	0,161	0,266	0,040	0,083
Mn	0,004	0,004	0,004	0,007	0,008	0,012	0,015	0,014	0,007	0,012	0,018	0,014	0,002	0,004
Fe^{2+}	0,423	0,428	0,482	0,558	0,596	0,627	0,784	0,707	0,514	0,649	0,758	0,662	0,976	0,900
Co	0,003	0,003	0,002	0,002	b.d.	0,003	0,003	b.d.	0,002	0,003			0,003	0,003
Ni	0,002	0,003	b.d.	0,002	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.			b.d.	0,004
Zn	0,009	0,005	0,005	0,013	0,021	0,045	0,034	0,036	0,023	0,073	0,049	0,049	b.d.	0,006
Catsum	3,000	2,999	2,999	2,996	2,999	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
C/CA	0,37	0,49	0,50	0,47	0,51	0,67	0,78	0,78	0,53	0,64	0,85	0,73	0,65	0,64
F/FM	0,43	0,43	0,49	0,58	0,61	0,67	0,82	0,74	0,53	0,71	0,82	0,71	0,96	0,92
Cou	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,5	0,4	0,2	0,4	0,2	0,2	0,0	0,2
Nch	0,2	0,3	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
Usp	0,0	0,2	0,2	0,2	0,1	0,0	0,3	0,2	0,2	0,2	0,7	0,5	0,0	0,0
Ghn	0,9	0,5	0,5	1,3	2,1	4,5	3,4	3,6	2,3	7,3	4,9	4,9	0,0	0,6
Glx	0,4	0,4	0,4	0,7	0,8	1,2	1,5	1,4	0,7	1,2	1,8	1,4	0,2	0,4
Spl	55,9	49,4	48,6	40,6	37,4	23,5	16,8	16,3	43,1	23,3	4,1	17,5	0,0	8,3
Hc	5,5	0,0	0,0	8,1	8,2	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	2,5
Mag	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	4,5	4,4	1,3	10,2	9,1	5,0	91,8	66,4
Mfr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0
Chr	36,6	42,1	47,5	47,1	50,9	57,2	72,9	65,5	49,6	53,9	65,1	60,1	1,4	20,9
Mchr	0,0	6,3	1,8	0,0	0,0	7,8	0,7	8,2	2,4	3,2	12,1	9,2	0,0	0,0
Celkem	99,7	99,5	99,4	98,5	99,7	99,7	100,5	100,0	99,8	99,7	97,9	98,6	97,9	99,7

Tabulka 2. Příklady chemického složení maucheritu ze serpentinitů lomu Pohled. Obsahy v hm. %, hodnoty *apfu* přepočteny na bázi 19 atomů na vzorcovou jednotku. b.d. – pod mezí stanovitelnosti.

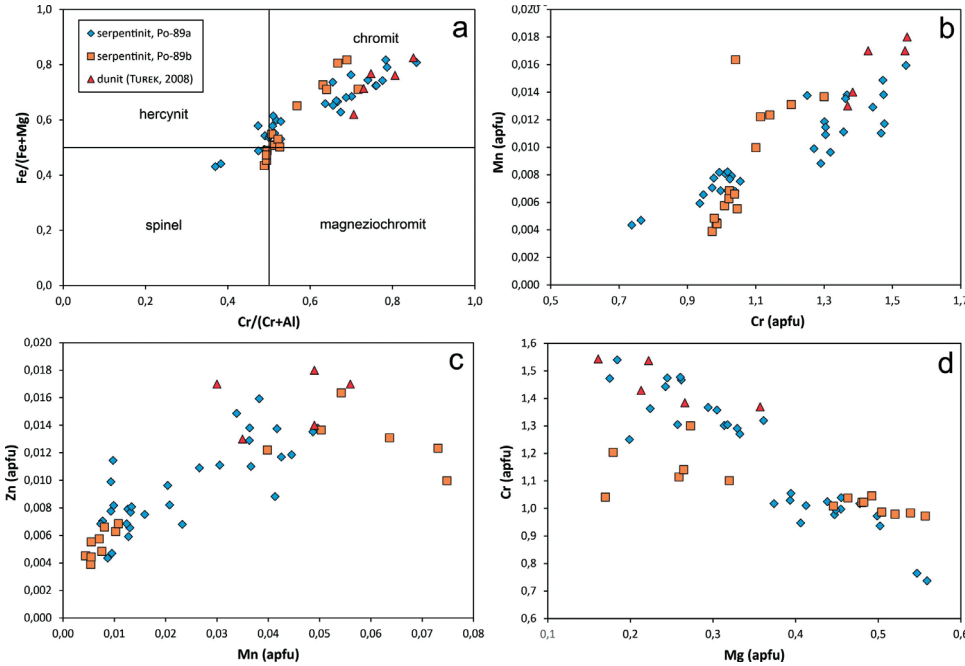
Table 2. Examples of chemical composition of maucherite from serpentinites from the quarry Pohled. Contents in wt. %, *apfu* values are calculated on the basis of 19 atoms per formula unit. b.d. – below detection limit.

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Vzorek	Po-89b	Po-89b	Po-89b	Po-89b	Po-89a	Po-89a	Po-89a	Po-89a	Po-89a	Po-89a	Po-89a	Po-89a	Po-89a	Po-89a
Fe	4,34	2,81	1,64	1,88	0,41	0,64	0,52	1,22	2,22	2,81	6,25	3,92	3,13	1,51
Co	8,20	8,83	7,33	3,05	7,71	5,33	2,30	4,26	2,69	2,11	7,34	1,52	2,38	9,35
Ni	39,13	40,34	42,74	47,10	44,22	45,97	48,98	47,04	46,99	46,75	38,68	46,28	45,65	40,99
In	0,04	0,04	0,04	0,06	0,04	0,05	0,07	0,05	0,04	0,04	0,05	b.d.	0,04	0,05
Cr	0,32	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,03	b.d.	b.d.	b.d.	0,04	b.d.	0,02	0,04	0,09
S	0,25	0,10	0,40	0,33	0,06	0,08	0,20	0,31	0,17	0,26	0,13	0,17	0,16	0,28
As	47,84	47,78	47,19	47,49	48,54	48,02	47,18	47,33	47,55	47,06	47,97	47,32	46,83	47,14
Sb	0,50	0,30	0,09	0,09	b.d.	0,60	0,70	0,71	1,03	1,11	0,32	0,77	0,77	0,82
Te	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	b.d.	0,05	0,04	0,04	b.d.	b.d.	0,05	0,06	b.d.
Celkem	100,66	100,25	99,49	100,06	101,04	100,72	100,00	100,96	100,73	100,18	100,74	100,05	99,06	100,23
Fe	0,958	0,624	0,366	0,417	0,090	0,142	0,116	0,269	0,492	0,625	1,378	0,873	0,704	0,336
Co	1,716	1,859	1,549	0,641	1,612	1,120	0,486	0,890	0,565	0,445	1,534	0,321	0,507	1,969
Ni	8,220	8,526	9,067	9,940	9,282	9,697	10,393	9,865	9,909	9,897	8,115	9,801	9,772	8,667
In	0,004	0,004	0,004	0,006	0,004	0,005	0,008	0,005	0,004	0,004	0,005	b.d.	0,004	0,005
Cr	0,076	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,007	b.d.	b.d.	b.d.	0,010	b.d.	0,005	0,010	0,021
Catsum	10,975	11,014	10,986	11,005	10,988	10,972	11,002	11,029	10,970	10,981	11,032	10,999	10,998	10,999
S	0,096	0,039	0,155	0,128	0,023	0,031	0,078	0,119	0,066	0,101	0,050	0,066	0,063	0,108
As	7,874	7,912	7,844	7,853	7,983	7,937	7,843	7,777	7,856	7,805	7,885	7,852	7,854	7,809
Sb	0,051	0,031	0,009	0,009	b.d.	0,061	0,072	0,072	0,105	0,113	0,032	0,079	0,079	0,084
Te	0,004	0,005	0,006	0,006	0,006	b.d.	0,005	0,004	0,004	b.d.	b.d.	0,005	0,006	b.d.
Ansum	8,025	7,986	8,014	7,995	8,012	8,028	7,998	7,971	8,030	8,019	7,968	8,001	8,002	8,001



Obr. 3: Variace v chemismu spinelidů ze serpentinitů a dunitu z lomu Pohled v diagramu Al – Cr – Fe^{3+}. Data pro dunit jsou převzata z TURKA (2008).

Fig. 3: Variations in composition of spinelides from serpentinites and dunite from the Pohled quarry in an Al – Cr – Fe^{3+} plot. Data for dunite are taken from TUREK (2008).



Obr. 4: Variace chemismu chromspinelidů ze serpentinitů a dunitu z lomu Pohled v diagramech (a) Cr/(Cr+Al) vs. Fe/(Fe+Mg), (b) Cr vs. Mn, (c) Mn vs. Zn, (d) Mg vs. Cr. Data pro dunit jsou převzata z TURKA (2008).

Fig. 4: Variations in composition of Cr-rich spinelides from serpentinites and dunite from the Pohled quarry in plots (a) Cr/(Cr+Al) vs. Fe/(Fe+Mg), (b) Cr vs. Mn, (c) Mn vs. Zn, (d) Mg vs. Cr. Data for dunite are taken from TUREK (2008).

V kationtové pozici je dominantní Ni (8,12–10,39 *apfu*) zastupován Co (0,32–1,97 *apfu*) a Fe (0,09–1,38 *apfu*), ve stopách i In (max. 0,008 *apfu*) a v řadě analýz i Cr (max. 0,08 *apfu*). V aniontu je převažující As (7,80–7,99 *apfu*) vždy zastupován S (0,01–0,13 *apfu*) a Sb (0,01–0,11 *apfu*) a v menší míře ve většině analýz i Te (max. 0,006 *apfu*). Korelace mezi obsahy minoritních kationtů (Co-Fe) ani aniontů (S-Sb) neexistují. Průměrný (n = 31) empirický vzorec maucheritu ze serpentinitu z lomu Pohled (báze přepočtu 19 atomů na vzorcovou jednotku) je $(Ni_{9,46}Co_{1,09}Fe_{0,44}Cr_{0,01})_{\Sigma 11,00}(As_{7,87}S_{0,07}Sb_{0,06})_{\Sigma 8,00}$.

Nikelín byl sporadicky zaznamenán v granátickém metaultramafitu (DOLNÍČEK subm.) a v obou nově studovaných vzorcích serpentinitu. V granátickém metaultramafitu tvořil jediné zrno nepravidelného tvaru o velikosti 15 µm, zarostlé v pyrhotinu, v asociaci s molybdenitem (obr. 5a). V serpentinitu je mnohem vzácnější než chemicky blízký maucherit. Většinou vytváří samostatná okrouhlá zrna do 10 µm uzavřená v minerálech serpentinové skupiny či magnetitu, někdy s tenkým lemem magnetitu a/nebo milleritu (obr. 5b). Ojedinělé bylo větší zrno (30 µm) ve srůstu s maucheritem a westervelditem (obr. 2f). Vzájemný parageneticky vztah maucheritu a nikelínu je však v tomto jediném případě, kdy jsou oba arzenidy ve vzájemném kontaktu, nejasný. Příklady chemického složení minerálu jsou uvedeny v tab. 3 (analýzy 1–7). V kationtu nikelínu je převažující Ni (0,66–0,94 *apfu*) zastupován Fe (0,02–0,14 *apfu*) a Co (0,01–0,31 *apfu*). Arsen (0,92–1,03 *apfu*) je většinou slabě substituován S (do 0,08 *apfu*) a nepatrně i Sb (do 0,008 *apfu*). Průměrný (n = 10) empirický vzorec nikelínu z lomu Pohled (báze přepočtu 2 atomy na vzorcovou jednotku) je $(Ni_{0,80}Co_{0,12}Fe_{0,06})_{\Sigma 0,99}(As_{0,99}S_{0,02})_{\Sigma 1,01}$.

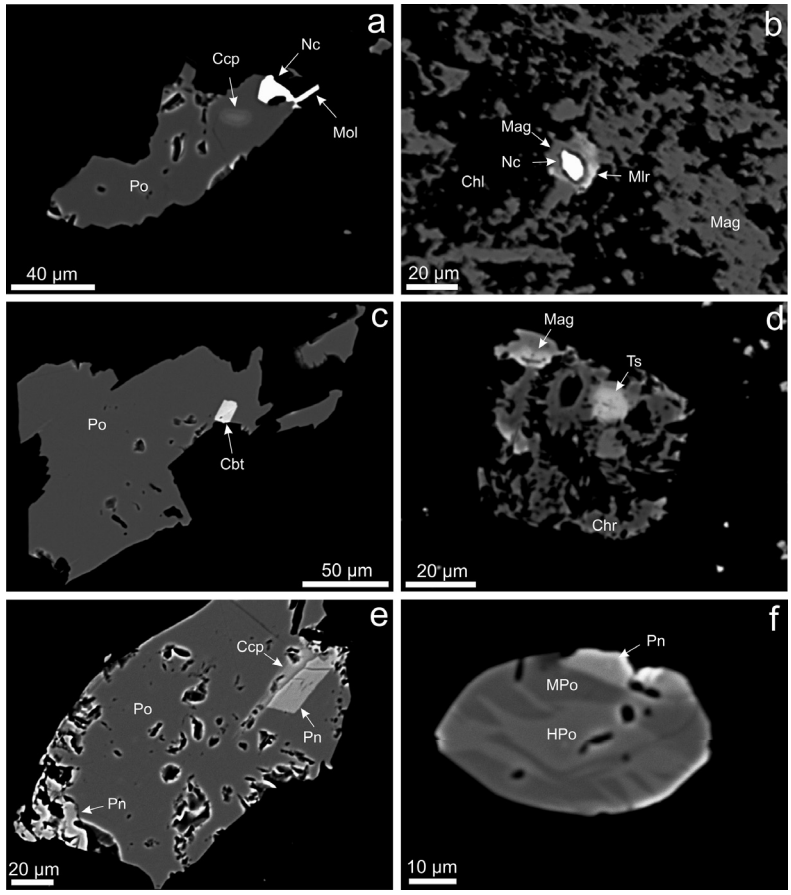
Westerveldit tvoří drobnou okrouhlou inkluzi o velikosti kolem 5 μm uzavřenou spolu s nepatrnou neidentifikovanou inkluzí bohatou na Sb v největším zjištěném zrnu maucheritu srůstajícím s nikelínem ve vzorku serpentinitu Po-89a (obr. 2f). V BSE obraze je westerveldit tmavší než maucherit. Jediná reprezentativní WDS analýza je uvedena v tab. 3 (analýza č. 8). Empirický vzorec westervelditu z lomu Pohled (báze přepočtu 2 atomy na vzorcovou jednotku) je $(Fe_{0,62}Ni_{0,35}Co_{0,03})_{\Sigma 0,99}As_{1,01}$.

Kobaltin byl zjištěn v jediném automorfně omezeném krystalu o velikosti 8 μm uzavřeném v agregátu pyrhotinu v jednom ze vzorků „amfibolitu" (obr. 5c). V BSE obraze nevykazuje zonalitu, což potvrdily i bodové analýzy, jež vykázaly vzájemně blízká složení (tab. 3, analýzy 9 a 10). Kobalt (0,71–0,72 *apfu*) je zčásti zastupován Fe (0,13–0,14 *apfu*) a Ni (0,14 *apfu*), arsen (0,98–1,00 *apfu*) nepatrně Sb (0,004–0,006 *apfu*). Poměr (As+Sb)/ (As+Sb+S) kolísá mezi 0,494 a 0,499. Průměrný (n = 3) empirický vzorec kobaltinu z „amfibolitu" lomu Pohled (báze přepočtu 3 atomy na vzorcovou jednotku) je $(Co_{0,71}Ni_{0,14}Fe_{0,14})_{\Sigma 0,98}(As_{0,99}Sb_{0,01}S_{1,01})_{\Sigma 2,01}$.

Tabulka 3. Příklady chemického složení sulfidů a arzenidů (Nc – nikelín, Wvd – westerveldit, Cbt – kobaltin, Pld – polydymit, Vio – violarit, Mlr – millerit) ze serpentinitů (S), granátického metaultramafitu (GM) a „amfibolitu" (A) z lomu Pohled. Obsahy v hm. %, hodnoty *apfu* přepočteny na bázi 2 (nikelín, westerveldit, millerit), 3 (kobaltin), respektive 7 (thiospinely) atomů na vzorcovou jednotku. b.d. – pod mezí stanovitelnosti. Analýza č. 3 je převzata z Dolníčka (subm.).

Table 3. Examples of chemical composition of sulfides and arsenides (Nc – nickeline, Wvd – westerveldite, Cbt – cobaltite, Pld – polydymite, Vio – violarite, Mlr – millerite) from serpentinite (S), garnetic metaultramafite (GM) and „amphibolite" (A) from the Pohled quarry. Contents in wt. %, *apfu* values are calculated on the basis of 2 (nickeline, westerveldite, millerite), 3 (cobaltite), or 7 (thiospinels) atoms per formula unit. b.d. – below detection limit. Analysis No. 3 is taken from Dolníček (subm.).

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Vzorek	Po-89a	Po-89b	Po-88	Po-88	Po-89a	Po-89a	Po-89a	Po-89a	Po-90b	Po-90b	Po-89a	Po-89a	Po-89a	Po-89a
Hornina	S	S	GM	GM	S	S	S	S	A	A	S	S	S	S
Minerál	Nc	Nc	Nc	Nc	Nc	Nc	Nc	Wvd	Cbt	Cbt	Pld	Vio	Vio	Mlr
Fe	4,07	1,43	2,66	5,82	1,20	1,16	0,68	25,83	4,59	4,89	11,80	20,13	13,99	4,56
Co	0,07	0,39	3,49	5,02	10,94	12,07	13,56	1,26	25,95	25,64	2,45	1,83	2,04	0,51
Ni	40,13	41,29	37,33	32,98	30,16	28,98	29,22	15,55	4,91	5,16	43,43	34,95	40,95	59,42
Cu	b.d.	b.d.	0,12	0,13	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
In	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	b.d.	b.d.	b.d.	0,05	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
S	0,03	0,45	0,48	1,83	0,15	0,11	0,15	0,05	19,89	19,73	41,99	41,98	41,98	35,44
As	56,02	55,10	55,07	52,34	57,33	57,82	55,26	56,24	45,15	45,73	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Sb	0,04	0,63	0,39	0,56	b.d.	b.d.	0,26	0,15	0,43	0,31	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Bi	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,30	0,27	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Te	0,04	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,05	b.d.	b.d.	b.d.	0,04	b.d.	b.d.	b.d.
Celkem	100,45	99,33	99,59	98,72	99,83	100,14	99,18	99,08	101,27	101,73	99,71	98,89	98,96	99,93
Fe	0,097	0,034	0,064	0,138	0,029	0,028	0,016	0,616	0,134	0,143	0,642	1,099	0,765	0,074
Co	0,002	0,009	0,079	0,113	0,249	0,274	0,310	0,028	0,720	0,709	0,126	0,095	0,106	0,008
Ni	0,907	0,944	0,849	0,742	0,689	0,661	0,670	0,353	0,137	0,143	2,249	1,815	2,130	0,917
Cu	b.d.	b.d.	0,003	0,003	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
In	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	b.d.	b.d.	b.d.	0,001	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Catsum	1,006	0,987	0,995	0,996	0,967	0,962	0,997	0,997	0,992	0,995	3,018	3,008	3,001	0,999
S	0,001	0,019	0,020	0,075	0,006	0,005	0,006	0,002	1,014	1,003	3,981	3,992	3,999	1,001
As	0,992	0,987	0,981	0,923	1,026	1,033	0,993	0,999	0,985	0,995	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Sb	0,000	0,007	0,004	0,006	b.d.	b.d.	0,003	0,002	0,006	0,004	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Bi	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,002	0,002	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Te	0,000	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,001	b.d.	b.d.	b.d.	0,001	b.d.	b.d.	b.d.
Ansum	0,994	1,013	1,005	1,004	1,032	1,037	1,003	1,003	2,007	2,005	3,982	3,992	3,999	1,001



Obr. 5: Minerální asociace a vývin některých studovaných minerálních fází na BSE snímcích. a – nikelín (Nc) v asociaci s pyrhotinem (Po), chalkopyritem (Ccp) a molybdenitem (Mol) v granátickém metaultramafitu, vzorek Po-88. b – nikelín s lemem magnetitu (Mag) a milleritu (Mlr) uzavřený v porézním agregátu magnetitu a chloritu (Chl) ze serpentinitu Po-89a. c – krystal kobaltinu (Cbt) uzavřený v pyrhotinu z „amfibolitu“ Po-90b. d – agregát thiospinelů (Ts) uzavřený v porézním chromitu (Chr) v asociaci s magnetitem ze serpentinitu Po-89a. e – automorfní a xenomorfní Ni>Fe pentlandit (Pn) v asociaci s pyrhotinem a chalkopyritem z granátického metaultramafitu, vzorek Po-88. f – srůsty monoklinického pyrhotinu (MPo), hexagonálního pyrhotinu (HPo) a Fe>Ni pentlanditu v granátickém metaultramafitu, vzorek Po-88 (Dolníček, subm.).

Fig. 5: Mineral assemblage and nature of some studied mineral phases on BSE pictures. a – nickeline (Nc) in assemblage with pyrrhotite (Po), chalcopyrite (Ccp) and molybdenite (Mol) in garnetic metaultramafite, sample Po-88. b – nickeline rimmed by magnetite (Mag) and millerite (Mlr) enclosed in a porous aggregate of magnetite and chlorite (Chl) from serpentinite Po-89a. c – a crystal of cobaltite (Cbt) enclosed in pyrrhotite from “amphibolite” Po-90b. d – an aggregate of thiospinels (Ts) enclosed in porous chromite (Chr) in association with magnetite from serpentinite Po-89a. e – euhedral and anhedral Ni>Fe pentlandite (Pn) in association with pyrrhotite and chalcopyrite from garnetic metaultramafite, sample Po-88. f – intergrowths of monoclinic pyrrhotite (MPo), hexagonal pyrrhotite (HPo) and Fe>Ni pentlandite from garnetic metaultramafite, sample Po-88 (Dolníček, subm.).

Thiospinely byly zaznamenány v jednom ze studovaných serpentinitů, a to v jediném okrouhlém zrnu o průměru 10 μm uzavřeném v silně porézním reliktu chromitu, v němž byly korozní dutiny vyplněny Cr-bohatým chloritem (obr. 5d). V obraze BSE nebyla zjištěna chemická zonalita, avšak čtyři bodové WDS analýzy provedené v tomto zrnu přesto ukázaly širší variace v kationtové části formule minerálu (tab. 3, analýzy 11–13): převažující Ni (1,82–2,23 *apfu*) a méně zastoupené Fe (0,64–1,10 *apfu*) jsou doprovázeny minoritním Co (0,09–0,13 *apfu*). Klasifikačně jde ve třech případech o **violarit**, v jednom o **polydymit**. Průměrný (n = 4) empirický vzorec thiospinelu ze serpentinitu z lomu Pohled (báze přepočtu 7 *apfu*) je $(Ni_{2,00}Fe_{0,90}Co_{0,11})_{\Sigma 3,01}S_{3,99}$.

Millerit byl nalezen v tenkém (max. mocnost 5 μm) lemu kolem drobného zrna nikelínu, uzavřeného v chlorit-magnetitovém agregátu v serpentinitu (obr. 5b). Lem byl tvořen magnetitem a milleritem. Jediná reprezentativní WDS analýza (tab. 3, analýza č. 14) ukázala jen malou příměs Fe a Co. Empirický vzorec milleritu z lomu Pohled (báze přepočtu 2 atomy na vzorcovou jednotku) je $(Ni_{0,92}Fe_{0,07}Co_{0,01})_{\Sigma 1,00}S_{1,00}$.

Pentlandit byl vzácně zastižen pouze v granátickém metaultramafitu (DOLNÍČEK, subm.). Vždy zde srůstá s monoklinickým pyrhotinem (obr. 5e,f), při okraji jehož agregátů vytváří jednotlivá okrouhlá či tabulkovitá zrna s xenomorfním až automorfním omezením o velikosti až 30 μm. V BSE obraze je homogenní. Z pohledu chemismu (tab. 4, analýzy 1–6) byl zjištěn jak typ s převahou Fe (s 4,09–4,36 *apfu* Fe a 3,75–3,91 *apfu* Ni), tak typ s převahou Ni (s 3,80–3,86 *apfu* Fe a 4,27–4,31 *apfu* Ni). V obou byly navíc zaznamenány zvýšené obsahy Co (0,75–0,94 *apfu*) a méně i Cu (0,01–0,20 *apfu*). Průměrný (n = 3) empirický vzorec Fe-dominantního pentlanditu z lomu Pohled (báze přepočtu 17 *apfu*) je $(Fe_{4,22}Ni_{3,83}Co_{0,87}Cu_{0,08})_{\Sigma 8,99}S_{8,01}$ a průměrný (n = 4) empirický vzorec Ni-dominantního pentlanditu z lomu Pohled je $(Ni_{4,30}Fe_{3,83}Co_{0,84}Cu_{0,02})_{\Sigma 8,99}S_{8,01}$.

Tabulka 4. Příklady chemického složení některých sulfidů (Pn – pentlandit, MPo – monoklinický pyrhotin, HPo – hexagonální pyrhotin) z granátického metaultramafitu (GM) a „amfibolitu“ (A) z lomu Pohled. Obsahy v hm. %, hodnoty *apfu* přepočteny na bázi 17 atomů na vzorcovou jednotku (pentlandit), respektive 1 atomu síry (pyrhotin). b.d. – pod mezí stanovitelnosti. Analýzy č. 2, 4, 13 a 14 jsou převzaty z DOLNÍČKA (subm.).

Table 4. Examples of chemical composition of some sulfides (Pn – pentlandite, MPo – monoclinic pyrrhotite, HPo – hexagonal pyrrhotite) from garnetic metaultramafite (GM) and „amphibolite“ (A) from the Pohled quarry. Contents in wt. %, *apfu* values are calculated on the basis of 17 atoms per formula unit (pentlandite) or 1 atom of sulfur (pyrrhotite). b.d. – below detection limit. Analyses No. 2, 4, 13 and 14 are taken from DOLNÍČEK (subm.).

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Vzorek	Po-88	Po-88	Po-88	Po-88	Po-88	Po-88	Po-90b	Po-90b	Po-90b	Po-90b	Po-88	Po-88	Po-88	Po-88
Hornina	GM	GM	GM	GM	GM	GM	A	A	A	A	GM	GM	GM	GM
Minerál	Pn	Pn	Pn	Pn	Pn	Pn	MPo	MPo	MPo	MPo	MPo	MPo	HPo	HPo
Fe	31,78	30,51	29,50	27,68	27,78	27,59	57,23	57,17	57,28	57,20	58,97	57,55	60,18	61,51
Co	6,79	7,20	5,88	6,62	6,31	6,33	0,20	0,14	0,24	0,21	0,05	0,23	0,04	b.d.
Ni	28,68	29,08	29,67	33,00	32,28	32,64	1,47	1,36	0,86	1,01	0,16	0,83	0,07	0,04
Cu	0,05	0,20	1,66	0,10	0,25	0,32	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Pb	b.d.	b.d.	0,10	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,10	0,10	0,09	b.d.	b.d.	0,11
Au	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,14	0,12
S	33,46	33,30	33,21	33,45	33,03	33,27	40,12	40,10	40,03	40,00	39,37	40,32	38,16	37,14
Celkem	100,76	100,29	100,02	100,85	99,65	100,15	99,02	98,77	98,51	98,52	98,64	98,93	98,59	98,92
Fe	4,363	4,210	4,089	3,804	3,864	3,817	0,819	0,818	0,821	0,821	0,860	0,819	0,905	0,951
Co	0,883	0,942	0,772	0,862	0,832	0,830	0,003	0,002	0,003	0,003	0,001	0,003	0,001	b.d.
Ni	3,746	3,818	3,913	4,315	4,272	4,296	0,020	0,019	0,012	0,014	0,002	0,011	0,001	0,001
Cu	0,006	0,024	0,202	0,012	0,031	0,039	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Pb	b.d.	b.d.	0,004	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,000	0,000	0,000	b.d.	b.d.	0,000
Au	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,001	0,001
Catsum	8,998	8,995	8,981	8,993	8,997	8,982	0,842	0,839	0,837	0,838	0,863	0,834	0,907	0,952
S	8,002	8,005	8,019	8,007	8,003	8,018	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Pyrhotin je nejběžnějším sulfidickým minerálem v granátickém metaultramafitu (Dolníček subm.) i „amfibolitech". Vyskytuje se jako okrouhlá xenomorfně omezená zrna či nepravidelné agregáty o velikosti až 100 µm. Obsahuje inkluze chalkopyritu a pentlanditu (obr. 5a,c,e,f). Pyrhotin většinou obsahuje malé příměsi Ni (do 0,020 *apfu*) a většinou i Co (max. 0,003 *apfu*); vyšší koncentrace obou prvků byly zaznamenány v pyrhotinu z „amfibolitů" (tab. 4, analýzy 7–14). Podle poměru kovů k síře lze rozlišit dvě skupiny dat. Převážná většina analýz s Me/S = 0,83–0,87 (z „amfibolitů" i granátického metaultramafitu) odpovídá monoklinickému pyrhotinu, zatímco malá část s Me/S = 0,90–0,95 (pouze z granátického metaultramafitu) spadá do složení hexagonálního pyrhotinu (Becker *et al.*, 2010). Monoklinický pyrhotin je bohatší na Ni a Co, zatímco hexagonální pyrhotin je prakticky bez příměsí (tab. 4, analýzy 7–14). Oba typy spolu mohou srůstat i v rámci jednoho agregátu (obr. 5f).

Chlorit je jedním z fylosilikátů podílejících se ve vedlejším množství na složení serpentinitu. Chlorit se zvýšeným obsahem Cr lemuje po obvodu korodovaná zrna Cr-bohatých spinelidů a často v nich také vyplňuje i vnitřní vyloužené partie (obr. 2c, d). Klasifikačně (Melka 1965; Bayliss 1975) odpovídá chlorit vždy klinochloru (Si = 2,89–3,15 *apfu*, Fe/(Fe+Mg) = 0,04–0,07; tab. 5, analýzy 1–6). Obsah Cr kolísá mezi 0,13 a 0,21 *apfu*

Tabulka 5. Chemické složení chloritu (Chl), mastku (Tlc) a flogopitu (Phl) z dunitu (D) a serpentinitu (S). Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty *apfu* přepočteny na bázi 14 (chlorit) či 11 (mastek, flogopit) atomů kyslíku na vzorcovou jednotku. b.d. – pod mezí stanovitelnosti, F/FM = $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$, T – teplota indikovaná chloritovým termometrem podle Cathelineau (1988). Analýzy č. 10 a 11 jsou převzaty z Turka (2008).

Table 5. Chemical composition of chlorite (Chl), talc (Tlc) and phlogopite (Phl) from dunite (D) and serpentinite (S). Contents of oxides in wt. %, *apfu* values are calculated on the basis of 14 (chlorite) or 11 (talc, phlogopite) atoms of oxygen per formula unit. b.d. – below detection limit, F/FM = $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$, T – temperature indicated by chlorite thermometer according to Cathelineau (1988). Analyses No. 10 and 11 are taken from Turek (2008).

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Vzorek	Po-89a	Po-89a	Po-89a	Po-89a	Po-89a	Po-89a	Po-89a	Po-89b	Po-89b		
Hornina	S	S	S	S	S	S	S	S	S	D-lem	D-lem
Minerál	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Tlc	Tlc	Phl	Phl
SiO_2	32,38	31,30	31,20	30,57	32,27	33,34	31,93	60,35	58,97	42,08	43,73
TiO_2	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,42	0,11
Al_2O_3	18,28	16,55	19,04	17,98	14,13	15,11	15,07	1,22	2,06	12,44	11,37
Cr_2O_3	2,21	1,67	1,81	1,92	2,74	2,59	2,35	0,29	0,31	0,31	0,49
MgO	33,28	33,41	33,81	32,63	31,68	32,70	32,58	29,90	28,78	24,50	26,25
FeO	2,73	2,88	3,11	2,88	4,11	3,48	3,24	1,32	1,51	3,95	2,97
NiO	0,19	b.d.	0,18	0,19	b.d.	b.d.	b.d.	0,09	0,07		
Na_2O	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,23	0,20
K_2O	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,05	b.d.	9,22	8,78
Celkem	89,07	85,81	89,15	86,17	84,93	87,22	85,17	93,22	91,70	93,14	93,89
Si	2,987	3,000	2,886	2,923	3,150	3,151	3,092	3,929	3,904	3,024	3,090
Ti	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,023	0,006
Al	1,988	1,870	2,076	2,027	1,626	1,683	1,720	0,094	0,161	1,053	0,946
Cr	0,161	0,127	0,132	0,145	0,211	0,194	0,180	0,015	0,016	0,017	0,028
Mg	4,577	4,774	4,662	4,651	4,609	4,607	4,703	2,901	2,840	2,625	2,764
Fe	0,211	0,231	0,241	0,230	0,335	0,275	0,262	0,072	0,084	0,237	0,175
Ni	0,014	b.d.	0,013	0,015	b.d.	b.d.	b.d.	0,005	0,004		
Na	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,032	0,027
K	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,004	b.d.	0,845	0,791
Catsum	9,938	10,002	10,010	9,991	9,932	9,910	9,958	7,019	7,008	7,857	7,827
F/FM	0,044	0,046	0,049	0,047	0,068	0,056	0,053	0,024	0,029	0,083	0,060
T (°C)	264	260	297	285	212	211	230				

a v malém množství je v části naměřených analýz přítomen i Ni (do 0,015 *apfu*). Průměrný (n = 7) empirický vzorec chloritu ze serpentinitu z lomu Pohled (bezvodá báze přepočtu 14 atomů kyslíku na vzorcovou jednotku) je $(Mg_{4,65}Fe_{0,26}Ni_{0,01}Al_{0,89}Cr_{0,16})_{\Sigma 5,97}(Al_{0,97}Si_{3,03})_{\Sigma 4,00}O_{10,00}(OH)_{8,00}$.

Mastek byl zaznamenán v základní tkáni jednoho ze vzorků serpentinitu, v němž vytváří jednotlivé šupiny či okrouhlé agregáty o velikosti až 300 µm (obr. 1b). V BSE obraze je homogenní. Dvě orientační WDS analýzy (tab. 5, analýzy 8 a 9) ukázaly zvýšený obsah Al a Fe, méně i Cr (kolem 0,015 *apfu*) a Ni (kolem 0,004 *apfu*). Průměrný (n = 2) empirický vzorec mastku ze serpentinitu z lomu Pohled (bezvodá báze přepočtu 11 atomů kyslíku na vzorcovou jednotku) je $(Mg_{2,87}Fe_{0,08}Al_{0,05}Cr_{0,02})_{\Sigma 3,02}(Al_{0,08}Si_{3,92})_{\Sigma 4,00}O_{10,00}(OH)_{2,00}$.

Flogopit je součástí reakčních lemů kolem xenolitů dunitu, uzavřených v rulách. Tvoří vnější část reakčního lemu, přiléhajícího k rule. Flogopit v něm vytváří šupiny o velikosti až 5 mm (Turek 2008). Chemické složení (ex Turek 2008) odpovídá prakticky čistému flogopitu deficitnímu mezivrstevními kationty ve smyslu Riedera *et al.* (1998) (Si = 3,02 a 3,09 *apfu*, Fe/(Fe+Mg) = 0,06 a 0,08; *I* = 0,88 a 0,82; tab. 5, analýzy 10 a 11). Ze zájmových elementů obsahuje flogopit zvýšené koncentrace Cr (do 0,03 *apfu*). Průměrný (n = 2) empirický vzorec flogopitu z lomu Pohled (bezvodá báze přepočtu 11 atomů kyslíku na vzorcovou jednotku) je $(K_{0,82}Na_{0,03})_{\Sigma 0,85}(Mg_{2,69}Fe_{0,21}Al_{0,06}Cr_{0,02}Ti_{0,01})_{\Sigma 2,99}(Al_{0,94}Si_{3,06})_{\Sigma 4,00}O_{10,00}(OH)_{2,00}$.

Olivín je hlavní složkou obou studovaných serpentinitů a zcela převažující složkou v dunitu (Turek 2008). V serpentinitech jsou přítomny hojné relikty olivínu, zatlačované minerály serpentinové skupiny (obr. 1a,b). Tyto relikty dosahují velikosti až 300 µm. V dunitu tvoří rovnoměrně zrnitý olivín dlažbovitě uspořádaná zrna o velikosti až 0,6 mm (Turek 2008). Chemické složení (tab. 6, analýzy 1–6) odpovídá v obou případech forsteritu ($Fo_{87\text{-}91}$) a v případě serpentinitů je velmi homogenní. Všechny analýzy mají zvýšený obsah Ni (0,004–0,010 *apfu*).

Granát je hlavní složkou granátického metaultramafitu (Dolníček subm.) a vedlejší složkou jednoho ze studovaných „amfibolitů“ a také hornblenditu studovaného Turkem (2008). Vytváří okrouhlá xenomorfně omezená zrna o velikosti 0,5–3 mm. V „amfibolitu“ jsou granáty většinou lemovány amfibol-plagioklasovými symplektity (obr. 1c,d), v granátickém metaultramafitu i pyroxen-amfibolovými symplektity (Dolníček subm.; obr. 1f). Zonalita granátu není patrná ani v BSE obraze, ani z provedených bodových analýz. Chemické složení je ve všech horninových typech velmi podobné a odpovídá almandinu bohatému grosulárovou a pyropovou složkou (granátický metaultramafit: $Alm_{44\text{-}47}Grs_{27\text{-}33}Prp_{18\text{-}23}Sps_2Adr_{0\text{-}4}$*F-Kat*$_{0\text{-}1}$; „amfibolit“: $Alm_{40\text{-}51}Grs_{16\text{-}28}Prp_{21\text{-}29}Sps_{2\text{-}4}Adr_{1\text{-}3}$*F-Kat*$_{0\text{-}1}$; hornblendit: $Alm_{47\text{-}58}Grs_{23\text{-}27}Prp_{14\text{-}25}Sps_{1\text{-}6}$). Ze zájmových elementů obsahuje granát ojediněle malé koncentrace Cr (do 0,008 *apfu*, tj. 0,4 mol. % uvarovitové komponenty) a/nebo V (do 0,006 *apfu*, tj. 0,3 mol. % goldmanitové komponenty; tab. 6, analýzy 7–11).

Klinopyroxen je rovněž jednou z hlavních složek granátického metaultramafitu (Dolníček subm.). Hojnější varieta vytváří granoblastické agregáty srůstající s granátem v málo alterovaných partiích horniny (obr. 1e), zatímco ve více alterovaných částech je do značné míry nahrazen amfibolem (obr. 1f). Méně zastoupený texturní typ klinopyroxenu je součástí ilmenit-pyroxenových a pyroxen-plagioklasových symplektitů (kolem titanitu, respektive granátu). Chemické složení obou typů pyroxenu je velmi blízké, v klasifikaci Morimota *et al.* (1989) padají průmětné body do pole Wo-bohatého pyroxenu do blízkosti klasifikačního rozhraní s diopsidem ($Wo_{50\text{-}53}En_{37\text{-}45}Fs_{3\text{-}12}$). Ze zájmových elementů obsahuje pyroxen ojediněle malé koncentrace Cr a/nebo V (oba prvky do 0,003 *apfu*; tab. 6, analýzy 12–14).

Tabulka 6. Příklady chemického složení olivínu (Ol), granátu (Grt) a klinopyroxenu (Cpx) z granátického metaultramafitu (GM), „amfibolitu“ (A), hornblenditu (H), dunitu (D) a serpentinitu (S). Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty *apfu* přepočteny na bázi 4 atomů kyslíku (olivín), 12 atomů kyslíku a 8 kationtů (granát), či 6 atomů kyslíku a 4 kationtů (klinopyroxen) na vzorcovou jednotku. b.d. – pod mezí stanovitelnosti. Analýzy č. 7 a 13 jsou převzaty z DOLNÍČKA (subm.), analýzy č. 5, 6, 10 a 11 z TURKA (2008).

Table 6. Examples of chemical composition of olivine (Ol), garnet (Grt) and clinopyroxene (Cpx) from garnetic metaultramafite (GM), „amphibolite“ (A), hornblendite (H), dunite (D) and serpentinite (S). Contents of oxides in wt. %, *apfu* values are calculated on the basis of 4 atoms of oxygen (olivine), 12 atoms of oxygen and 8 cations (garnet), or 6 atoms of oxygen and 4 cations (clinopyroxene) per formula unit. b.d. – below detection limit. Analyses No. 7 and 13 are taken from DOLNÍČEK (subm.), No. 5, 6, 10 and 11 from TUREK (2008).

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Vzorek	Po-89b	Po-89b	Po-89b	Po-89b			Po-88	Po-88	Po-90a			Po-88	Po-88	Po-88
Hornina	S	S	S	S	D	D	GM	GM	A	H	H	GM	GM	GM
Minerál	Ol	Ol	Ol	Ol	Ol	Ol	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Cpx	Cpx	Cpx
SiO_2	40,69	40,59	40,52	40,75	41,36	40,55	38,47	38,93	38,33	38,77	38,30	49,95	50,17	50,14
TiO_2	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.			0,10	0,09	b.d.	0,09	b.d.	0,36	0,74	0,06
Al_2O_3	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.			21,48	21,87	21,29	21,44	20,84	1,42	2,57	2,54
V_2O_3	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.			0,10	0,07	b.d.			b.d.	0,08	0,11
Cr_2O_3	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.			0,13	0,10	0,06	0,05	0,04	0,08	0,10	b.d.
Fe_2O_3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,05	0,22	0,00	0,00	1,44	3,63	5,73
MgO	49,59	49,60	49,06	49,26	49,92	47,08	5,42	5,45	5,69	5,18	3,63	12,56	12,72	13,73
MnO	0,09	0,10	0,10	0,10	0,13	0,19	0,81	0,86	1,88	0,87	2,51	0,20	0,20	0,10
FeO	9,39	8,83	9,34	9,14	9,12	12,50	20,93	21,35	23,42	24,10	26,36	7,19	4,64	1,82
NiO	0,35	0,48	0,40	0,43	0,34	0,19	b.d.	b.d.	b.d.			b.d.	b.d.	b.d.
CaO	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.			11,45	11,47	8,09	9,38	8,02	23,62	24,36	22,83
Na_2O	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.			b.d.	b.d.	b.d.			b.d.	0,42	0,94
F	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.			0,12	0,14	0,14			b.d.	b.d.	b.d.
Celkem	100,11	99,60	99,42	99,68	100,87	100,51	99,14	100,38	99,12	99,87	99,69	96,82	99,64	98,00
Si	0,995	0,996	0,998	1,000	1,002	1,001	2,997	2,996	3,007	3,015	3,030	1,935	1,883	1,893
Ti	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.			0,006	0,005	b.d.	0,005	b.d.	0,010	0,021	0,002
Al	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.			1,972	1,984	1,969	1,965	1,943	0,065	0,114	0,113
V	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.			0,006	0,004	b.d.			b.d.	0,002	0,003
Cr	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.			0,008	0,006	0,004	0,003	0,002	0,002	0,003	b.d.
Fe^{3+}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,003	0,013	0,000	0,000	0,042	0,103	0,163
Mg	1,808	1,815	1,801	1,802	1,803	1,732	0,629	0,625	0,665	0,600	0,429	0,725	0,712	0,773
Mn	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,004	0,053	0,056	0,125	0,057	0,168	0,007	0,006	0,003
Fe^{2+}	0,192	0,181	0,192	0,188	0,185	0,258	1,364	1,374	1,537	1,568	1,744	0,233	0,146	0,058
Ni	0,007	0,009	0,008	0,008	0,007	0,004	b.d.	b.d.	b.d.			b.d.	b.d.	b.d.
Ca	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.			0,956	0,946	0,680	0,781	0,680	0,980	0,980	0,924
Na	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.			b.d.	b.d.	b.d.			b.d.	0,030	0,069
F	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.			0,030	0,034	0,035			b.d.	b.d.	b.d.
Catsum	3,005	3,004	3,002	3,000	2,998	2,999	8,000	8,000	8,000	7,995	7,997	4,000	4,000	4,000

Amfibol je jednou z hlavních složek granátického metaultramafitu (DOLNÍČEK subm.) a hornblenditu (TUREK 2008), zcela převažující komponentou obou „amfibolitů“, a také dominantní složkou reakčních lemů kolem xenolitů serpentinitů (MASTÍKOVÁ 2009) a dunitu (TUREK 2008). V granátickém metaultrabazitu a „amfibolitech“ je přítomen ve dvojím vývoji – jednak v podobě zrnitých agregátů složených z izometrických xenomorfně omezených zrn o velikosti do 2 mm, jež obklopují či pronikají granát či klinopyroxen, jednak v podobě amfibol-plagioklasových symplektitů zatlačujících granát (obr. 1c-f). Rozdíly v chemismu obou typů jsou nepatrné, poněkud větší rozdíly jsou z tohoto pohledu mezi jednotlivými vzorky. V klasifikaci LEAKA *et al.* (1997) patří amfiboly z granátického metaultramafitu většinou pargasitu, ojediněle magneziohastingsitu, v „amfibolitu“ ze vzorku Po-90a jde většinou o tschermakit, výjimečně o magneziohastinsit, v „amfibolitu“ ze vzorku Po-90b jsou víceméně rovnoměrně zastoupeny **tschermakit**, **magneziohastinsit** i **pargasit** a v hornblenditu studovaném TURKEM (2008) jde o **magneziohornblend** až tschermakit. Ze zájmových elementů obsahuje amfibol z granátického metaultramafitu, hornblenditu a jednoho (negranátického) „amfibolitu“ většinou malé koncentrace V (do 0,032 *apfu*) a/nebo Cr (do 0,056 *apfu*; tab. 7, analýzy 1–11). Amfibol z reakčních lemů kolem uzavřenin ultrabazitů v rulách vytváří charakteristické jemně jehlicovité až vláknité agregáty s vlákny orientovanými kolmo k povrchu xenolitu. Mocnost těchto lemů dosahuje až 2 cm. Chemickým složením odpovídají tyto amfiboly vždy **antofylitu** (TUREK 2008; MASTÍKOVÁ 2009). Ze zájmových elementů obsahuje antofylit zhruba v polovině případů malé koncentrace Cr (do 0,011 *apfu*; tab. 7) a/nebo Ni (do 0,017 *apfu*; tab. 7, analýzy 12–14).

Titanit je vedlejší komponentou granátického metaultramafitu (DOLNÍČEK subm.). Vytváří jednotlivá izometrická či mírně protažená xenomorfně omezená zrna o velikosti do 0,5 mm (obr. 1e). Bývá zčásti či kompletně přeměněn v pyroxen-ilmenitový symplektit (obr. 1f). V BSE obraze je titanit vždy homogenní, což potvrdily i bodové WDS analýzy (tab. 8, analýzy 1–10). Ze zájmových elementů obsahuje titanit malou příměs V (0,007–0,009 *apfu*). Průměrný (n = 10) empirický vzorec titanitu z granátického metaultramafitu z Pohledu (báze přepočtu 3 kationty na vzorcovou jednotku) je $Ca_{0,99}(Ti_{0,92}Al_{0,06}Fe_{0,01}Zr_{0,01}V_{0,01})_{\Sigma 1,01}(Si_{0,99}P_{0,01})_{\Sigma 1,00}O_{4,98}F_{0,03}$.

Ilmenit byl zjištěn v granátickém metaultramafitu (DOLNÍČEK subm.) a v obou „amfibolitech“. V granátickém metaultramafitu je ilmenit vedlejší komponentou, jež se vyskytuje ve dvojí pozici. Hlavní část ilmenitu je součástí ilmenit-pyroxenových symplektitů zatlačujících titanit (obr. 1f), zatímco druhý typ je tvořen ojedinělými zrny uzavíranými v nealterované partii horniny (obr. 1e). Složení ilmenitu z nealterované partie je $Ilm_{94}Gk_1Pph_2Prv_1Hem_2$, zatímco ilmenit ze symplektitu je bohatší geikielitovou složkou ($Ilm_{89-91}Gk_{5-6}Pph_2Prv_1Hem_{1-2}$). V „amfibolitech“ je ilmenit akcesorií, vytvářející jednotlivá xenomorfně omezená zrna o velikosti do 200 μm či jejich shluky, někdy lineárně uspořádané. Složení ilmenitu z obou „amfibolitů“ je velmi homogenní ($Ilm_{94-96}Gk_{1-2}Pph_{2-3}Hem_{0-2}$). Ze zájmových elementů obsahuje ilmenit ojediněle malou příměs V (granátický metaultramafit) či Cr („amfibolit“ Po-90b). Obsahy v obou případech nepřesahují 0,001 *apfu* (tab. 8, analýzy 11–14).

DISKUSE

Zatímco malé příměsi zájmových tranzitních prvků v horninotvorných silikátech (amfibolech, pyroxenech, slídách, olivínu, mastku, aj.) nejsou ničím neobvyklým, zajímavým zjištěním je značná druhová pestrost fází, které tyto elementy obsahují jako hlavní složky. Jde zejména o akcesorické sulfidy a arzenidy, jež jsou reprezentovány celkem osmi minerálními fázemi, z nichž většina (maucherit, nikelín, westerveldit, polydymit, millerit a pentlandit) je pro lokalitu nových. V případě westerveldit pak jde i o první výskyt v rámci celé ČR.

Tabulka 7. Příklady chemického složení amfibolů (Prg – pargasit, Mhs – magneziohastingsit, Mhb – magneziohornblend, Tsr – tschermakit, Ath – antofylit) z granátického metaultramafitu (GM), „amfibolitu“ (A), dunitu (D), hornblenditu (H) a serpentinitu (S). Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty *apfu* přepočteny na bázi 23 atomů kyslíku (Ath) a 13 kationtů eCNK (ostatní) na vzorcovou jednotku. b.d. – pod mezí stanovitelnosti, F/FM = $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$. Analýzy č. 1, 4 a 6 jsou převzaty z Dolníčka (subm.), č. 11–13 z Turka (2008) a č. 14 z Mastíkové (2009).

Table 7. Examples of chemical composition of amphibole (Prg – pargasite, Mhs – magnesiohastingsite Mhb – magneziohornblend, Tsr – tschermakite, Ath – anthophyllite) from garnetic metaultramafite (GM), „amphibolite“ (A), dunite (D), hornblendite (H) and serpentinite (S). Contents of oxides in wt. %, *apfu* values are calculated on the basis of 23 atoms of oxygen (Ath) and 13 cations eCNK (others) per formula unit. b.d. – below detection limit, F/FM = $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$. Analyses No. 1, 4 and 6 are taken from Dolníček (subm.), No. 11–13 from Turek (2008) and No. 14 from Mastíková (2009).

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Vzorek	Po-88	Po-88	Po-88	Po-88	Po-88	Po-88	Po-90b	Po-90b	Po-90b	Po-90b				
Hornina	GM	GM	GM	GM	GM	GM	A	A	A	A	H	D	D-lem	S-lem
Minerál	Prg	Prg	Prg	Prg	Prg	Mhs	Tsr	Mhs	Prg	Mhs	Mhb	Ath	Ath	Ath
SiO_2	40,89	41,64	38,96	38,52	40,59	40,15	41,11	40,17	41,94	40,83	46,04	57,01	58,24	56,49
TiO_2	2,71	2,60	1,44	0,97	1,48	0,52	1,51	1,36	1,21	0,91	1,24			b.d.
Al_2O_3	13,03	12,37	16,10	15,90	13,51	14,75	13,80	14,58	14,13	14,33	10,24	0,32	0,22	0,18
V_2O_3	0,19	0,27	0,10	0,08	0,09	0,12	0,07	0,07	b.d.	b.d.				
Cr_2O_3	0,13	0,20	b.d.	0,07	b.d.	0,08	0,26	0,48	0,42	0,41	0,17	0,06	b.d.	0,10
Fe_2O_3	0,00	0,00	4,66	4,44	3,14	7,52	6,67	6,79	4,13	5,84	6,43	0,00	0,00	0,00
MgO	10,75	11,16	10,60	10,25	11,70	11,44	12,53	12,61	12,25	12,41	12,73	25,04	27,17	27,11
MnO	0,19	0,18	0,21	0,13	0,16	0,19	0,15	0,19	0,19	0,18	0,46	0,51	0,43	0,34
FeO	13,10	12,69	9,07	10,33	9,91	7,44	5,85	5,39	7,84	6,13	7,06	14,29	11,96	9,71
NiO	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.		0,16	0,07	0,14
CaO	12,01	11,89	11,62	11,74	11,79	11,41	11,47	11,23	11,55	11,25	11,39	0,09	0,08	0,51
Na_2O	2,45	2,34	2,50	2,81	2,60	2,69	1,86	2,44	2,18	2,29	0,74	0,08	0,08	b.d.
K_2O	0,31	0,33	0,13	0,16	0,10	0,14	0,29	0,42	0,38	0,39	0,42	b.d.	b.d.	b.d.
F	b.d.	b.d.	0,17	b.d.	b.d.	b.d.	0,17	b.d.	b.d.	0,17				b.d.
Celkem	95,76	95,67	95,56	95,40	95,07	96,45	95,74	95,73	96,21	95,14	96,92	97,55	98,24	94,58
Si	6,193	6,291	5,878	5,858	6,141	5,987	6,109	5,976	6,202	6,108	6,703	7,963	7,976	7,976
Ti	0,309	0,296	0,163	0,111	0,168	0,058	0,169	0,152	0,134	0,102	0,136			b.d.
Al	2,326	2,203	2,863	2,850	2,409	2,592	2,417	2,556	2,463	2,527	1,757	0,053	0,035	0,030
V	0,023	0,033	0,012	0,010	0,011	0,014	0,008	0,008	b.d.	b.d.				
Cr	0,016	0,024	b.d.	0,008	b.d.	0,009	0,031	0,056	0,049	0,048	0,020	0,006	b.d.	0,011
Fe^{3+}	0,000	0,000	0,529	0,508	0,357	0,844	0,746	0,760	0,460	0,657	0,704	0,000	0,000	0,000
Mg	2,427	2,513	2,384	2,324	2,639	2,543	2,775	2,796	2,699	2,768	2,763	5,213	5,547	5,706
Mn	0,024	0,023	0,027	0,017	0,021	0,024	0,019	0,024	0,023	0,023	0,057	0,061	0,050	0,041
Fe^{2+}	1,659	1,603	1,144	1,314	1,254	0,928	0,727	0,671	0,970	0,766	0,860	1,669	1,369	1,147
Ni	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.		0,017	0,008	0,016
Ca	1,949	1,925	1,878	1,913	1,911	1,823	1,826	1,790	1,829	1,803	1,777	0,013	0,011	0,077
Na	0,719	0,685	0,731	0,829	0,763	0,778	0,536	0,704	0,626	0,664	0,209	0,023	0,021	b.d.
K	0,060	0,064	0,025	0,031	0,019	0,027	0,055	0,080	0,072	0,074	0,078	b.d.	b.d.	b.d.
F	b.d.	b.d.	0,081	b.d.	b.d.	b.d.	0,080	b.d.	b.d.	0,080				b.d.
Catsum	15,706	15,659	15,635	15,773	15,693	15,627	15,417	15,573	15,527	15,542	15,064	15,018	15,017	15,003
F/FM	0,41	0,39	0,32	0,36	0,32	0,27	0,21	0,19	0,26	0,22	0,24	0,24	0,20	0,17

Tabulka 8. Chemické složení titanitu (Ttn) a ilmenitu (Ilm) z granátického metaultramafitu (GM) a „amfibolitu“ (A). Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty *apfu* přepočteny na bázi 3 kationtů (titanit), respektive 3 atomů kyslíku a 2 kationtů (ilmenit) na vzorcovou jednotku. b.d. – pod mezí stanovitelnosti, n.a. – neanalyzováno. Analýzy č. 1–5 a 9–12 jsou převzaty z DOLNÍČKA (subm.).

Table 8. Chemical composition of titanite (Ttn) and ilmenite (Ilm) from garnetic metaultramafite (GM) and „amphibolite“ (A). Contents of oxides in wt. %, *apfu* values are calculated on the basis of 3 cations (titanite) or 3 atoms of oxygen and 2 cations (ilmenite) per formula unit. b.d. – below detection limit, n.a. – not analysed. Analyses No. 1–5 and 9–12 are taken from DOLNÍČEK (subm.).

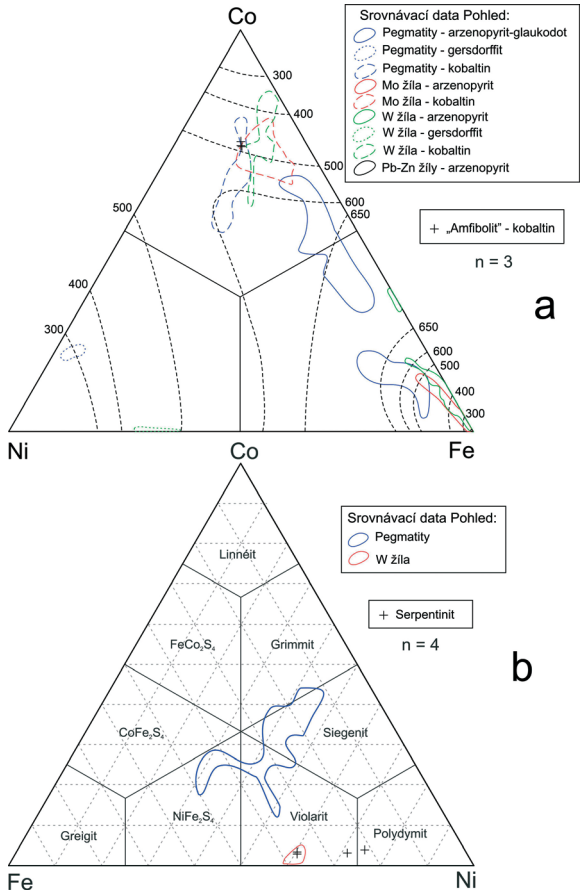
An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Vzorek	Po-88	Po-88	Po-88	Po-88	Po-88	Po-88	Po-88	Po-88	Po-88	Po-88	Po-88	Po-88	Po-90b	Po-90b
Hornina	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	A	A
Minerál	Ttn	Ttn	Ttn	Ttn	Ttn	Ttn	Ttn	Ttn	Ttn	Ttn	Ilm	Ilm	Ilm	Ilm
P_2O_5	0,40	0,41	0,15	0,34	b.d.	0,57	b.d.	0,46	0,46	0,55	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
SiO_2	30,33	30,16	30,47	30,51	30,81	30,03	30,75	30,12	30,27	30,07	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
TiO_2	37,34	37,11	37,41	37,50	37,77	37,45	37,52	37,61	37,35	37,04	51,21	51,29	51,41	51,50
ZrO_2	0,73	0,59	0,50	0,65	0,31	0,37	0,39	0,26	0,43	0,68	n.a	n.a	n.a	n.a
Al_2O_3	1,49	1,75	1,54	1,51	1,60	1,59	1,49	1,42	1,55	1,72	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
V_2O_3	0,32	0,30	0,35	0,32	0,33	0,33	0,31	0,31	0,33	0,26	0,06	0,06	b.d.	b.d.
Cr_2O_3	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,05	0,06
Fe_2O_3	0,16	0,24	0,42	0,51	0,31	0,36	0,32	0,38	0,33	0,58	1,79	1,85	0,97	0,53
Ce_2O_3	0,22	0,17	0,16	0,15	0,14	0,24	0,22	0,19	0,22	0,16	n.a	n.a	n.a	n.a
MgO	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	1,25	1,27	0,45	0,33
CaO	28,45	28,50	28,47	28,70	28,37	28,35	28,40	28,28	28,54	28,22	0,34	0,34	0,14	0,09
MnO	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,86	0,87	0,86	0,92
FeO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,53	42,56	44,40	44,69
F	0,22	0,19	0,24	0,29	0,23	0,26	0,26	0,26	0,21	0,28	n.a	n.a	n.a	n.a
O=F	-0,09	-0,08	-0,10	-0,12	-0,10	-0,11	-0,11	-0,11	-0,09	-0,12	0,00	0,00	0,00	0,00
Celkem	99,56	99,35	99,61	100,36	99,77	99,44	99,56	99,18	99,60	99,44	98,04	98,24	98,28	98,12
P	0,011	0,011	0,004	0,009	b.d.	0,016	b.d.	0,013	0,013	0,015	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Si	0,991	0,986	0,994	0,989	1,002	0,982	1,003	0,987	0,987	0,984	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Ti	0,918	0,912	0,918	0,914	0,924	0,921	0,921	0,928	0,917	0,912	0,982	0,982	0,990	0,994
Zr	0,012	0,009	0,008	0,010	0,005	0,006	0,006	0,004	0,007	0,011	n.a	n.a	n.a	n.a
Al	0,057	0,067	0,059	0,058	0,061	0,061	0,057	0,055	0,060	0,066	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
V	0,008	0,008	0,009	0,008	0,009	0,009	0,008	0,008	0,009	0,007	0,001	0,001	b.d.	b.d.
Cr	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,001	0,001
Fe^{3+}	0,004	0,006	0,010	0,012	0,008	0,009	0,008	0,009	0,008	0,014	0,034	0,035	0,019	0,010
Ce	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,002	0,003	0,002	n.a	n.a	n.a	n.a
Mg	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,048	0,048	0,017	0,013
Ca	0,996	0,998	0,995	0,997	0,989	0,993	0,993	0,993	0,997	0,989	0,009	0,009	0,004	0,002
Mn	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,019	0,019	0,019	0,020
Fe^{2+}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,907	0,905	0,951	0,959
F	0,023	0,020	0,025	0,030	0,024	0,027	0,027	0,027	0,022	0,029	n.a	n.a	n.a	n.a
Catsum	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Pestrost rudní asociace je velmi pravděpodobně zapříčiněna skutečností, že jejich hostitelské horniny za sebou mají složitý vývoj. Minimálně některé studované horninové typy pocházejí původně ze zemského svrchního pláště a je tedy jasné, že během transportu na zemský povrch byly jejich minerály vystaveny širokému spektru teplotních a tlakových podmínek. Změny podmínek v tak širokém rozsahu nepochybně vedly k mineralogickým změnám a fázovým transformacím. Reekvilibrační procesy jsou v některých případech v daných horninách doloženy u silikátových fází na základě dochovaných texturních staveb (Mastíková 2009; Dolníček subm.; obr. 1c-f). V případě studovaných sulfidů a arzenidů bohužel tyto procesy texturně identifikovat nelze vzhledem k akcesorickému výskytu daných fází, a tedy jejich chybějícím častějším vzájemným srůstům. Na závadu je rovněž mnohem nižší teplota tání sulfidů a arzenidů v porovnání se silikátovými minerály, takže je možno dokumentovat jen vývoj po posledním ochlazení horniny pod teplotu cca 270–850 °C v závislosti na chemickém složení rudní asociace (Hofmann 1994; Hofmann a Knill 1996; Tomkins a Mavrogenes 2002; Biagioni *et al*. 2020). Sférický tvar některých sulfidických inkluzí (obr. 5a, b, e, f) dokládá, že v okamžiku uzavření do silikátové matrice byly sulfidy skutečně v kapalném stavu (např. Oen 1973). Indikátorem složitého vývoje je tedy v dané situaci pouze fázová pestrost rudní asociace. Přítomnost fází s obdobným složením ale odlišnými poměry kovů k nekovům (nikelín versus maucherit, millerit versus polydymit, hexagonální versus monoklinický pyrhotin) ilustruje změny fugacity As, respektive S, či variace Eh a/nebo teplotních podmínek během vývoje nerostných asociací (srov. Kontny *et al*. 2000; Klein a Bach 2009).

Ne všechny zjištěné minerály ovšem musely nutně vzniknout během vývoje hostitelské horniny samotné. Vznik některých fází může souviset i s cirkulací mladších roztoků. To je velmi pravděpodobně případ kobaltinu a violaritu, jež se vyznačují chemickým složením prakticky identickým s týmiž fázemi nalezenými v pegmatitech či rudních žilách lomu Pohled (obr. 6).

Mobilitu zájmových tranzitních kovů během několika dílčích epizod vývoje daných hornin ilustrují v některých případech dobře čitelné texturní vztahy mezi minerály. Pěkným příkladem jsou v tomto směru zejména minerály obsahující Cr v ultrabazitech. Hořčíkem bohatá jádra chromspinelidů byla poprvé korodována již před (nebo během) růstu chromitového lemu (obr. 2a) a posléze znovu, po vzniku chromitu, kdy byla zatlačována chloritem se zvýšeným obsahem Cr (obr. 2c, d). K posledně zmíněné alteraci pravděpodobně došlo v teplotním intervalu cca 210–300 °C, jak indikuje chloritová termometrie (tab. 5). Chrom byl mobilní i při vzniku reakčních lemů mezi xenolity dunitů/serpentinitů a okolních rul, jak ukazují zvýšené obsahy Cr v antofylitu (tab. 7) a flogopitu (tab. 5) těchto reakčních lemů.

Dříve vyslovený názor o původu zájmových tranzitních kovů v bazických a ultrabazických horninách lomu Pohled (Dolníček *et al.* 2020, 2021, 2023, 2024) se zdá být na základě nových zjištění určitě opodstatněn pro Cr, Ni a Co. Zmíněné prvky tvoří v těchto horninách samostatné akcesorické minerály s vysokými obsahy (často desítky hm. %) daných prvků. Navíc jde většinou o fáze, jež nebyly zjištěny při studiu hydrotermálních žil a pegmatitů, takže nelze očekávat, že by jejich vznik souvisel s formováním těchto relativně mladých mineralizací. Jinými slovy, v době vzniku pegmatitů a hydrotermálních žil již tedy velmi pravděpodobně byly tyto minerály v daných horninách přítomny, a tedy mohly sloužit jako zdroj zájmových prvků. V menších koncentracích bývají dále tyto kovy přítomny i v hlavních silikátových minerálech, často málo stabilních během hydrotermální aktivity (např. olivín či pyroxen). Naproti tomu stále otevřená zůstává podle našeho názoru otázka zdroje V, neboť ve studovaných horninách se V vyskytuje jen v menším počtu minerálů a v nich vždy jen v poměrně malých koncentracích (do 0,35 hm. % V_2O_3). Nejvyšší zjištěné obsahy V byly navíc zaznamenány v titanitu, jenž je poměrně odolný vůči hydrotermálním alteracím. Nelze tedy vyloučit, že zdroj V pro hydrotermální proces mohl být i jinde než v (ultra)bazických horninách. Zvýšené obsahy V jsou v moldanubiku v některých kvarcitech či grafitických horninách (např. Houzar 1995), výskyt takových horninových typů ovšem v prostoru lomu ani v jeho okolí zatím zaznamenán nebyl.



Obr. 6: Variace v chemismu studovaného kobaltinu (a) a thiospinelů (b) v diagramu Ni – Co – Fe a porovnání s publikovanými daty z lomu Pohled. V obr. (a) jsou čárkovanými liniemi vyneseny i izotermy pro systém FeAsS – NiAsS – CoAsS podle Klemma (1965). Srovnávací data jsou převzata z prací Mastíkové (2009, 2011) a Dolníčka *et al.* (2021, 2023, 2024).

Fig. 6: Variations in composition of the studied cobaltite (a) and thiospinels (b) in a Ni – Co – Fe plot and their comparison with published data from the Pohled quarry. In Fig. (a) there are also visualised isotherms for the system FeAsS – NiAsS – CoAsS according to Klemm (1965). The comparative data are taken from Mastíková (2009, 2011) and Dolníček *et al.* (2021, 2023, 2024).

Získané výsledky rovněž naznačují, že (ultra)bazity mohly být minimálně zčásti i zdrojem As a Te pro hydrotermální roztoky, z nichž vznikala žilná rudní mineralizace s obsahem sulfoarzenidů (hlavně arzenopyritu, akcesoricky i kobaltinu, glaukodotu a gersdorffitu) a vzácně i arzenidů (löllingit), telluridů (joséit-A, joséit-B) a Te-bohatého zipseritu (Mastíková 2011; Dolníček *et al.* 2021, 2023, 2024). Původ Te v žilných mineralizacích z hostitelských metamorfovaných bazických hornin interpretují i Dolníček a Ulmanová (2021) a Dolníček a Nepejchal (2025).

ZÁVĚR

Bazické a ultrabazické horniny, tvořící v lomu Pohled (moldanubikum Českého masivu) drobné xenolity (dunit, serpentinit, hornblendit, granátický metaultramafit) či až 10 m mocné čočky („amfibolit") uzavřené v pararulách, byly mineralogicky studovány s důrazem na fáze obsahující Cr, V, Co a Ni. Byla zjištěna pestrá suita akcesorických minerálů obsahujících Cr, Co a Ni jako hlavní složky: chromspinelidy (spinel, chromit), maucherit, nikelín, pentlandit, violarit, polydymit, kobaltin, millerit a westerveldit. Vedle toho jsou tyto prvky a/nebo V minoritní součástí silikátových minerálů (granát, klinopyroxen, amfiboly, olivín, mastek, flogopit, chlorit, titanit), oxidických minerálů (magnetit, ilmenit) i obecných sulfidů (pyrhotin). Výsledky ukazují, že tyto minoritní horninové typy skutečně mohly být zdrojem Cr, Ni a Co pro pegmatitový a hydrotermální proces v prostoru lomu Pohled. Otevřená zůstává otázka zdroje V, neboť ten je v daných horninách přítomen jen v malém počtu minerálů a jen v malých koncentracích (do 0,35 hm. % V_2O_3, zejména v titanitu a chromspinelidech).

PODĚKOVÁNÍ

Autoři děkují vedení lomu Pohled za umožnění přístupu do těžebny a odběru vzorků. Výzkum byl realizován za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci institucionálního financování dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Národní muzeum (DKRVO 2024-2028/1.I.b, 00023272). K. Malému a anonymnímu recenzentovi děkujeme za vstřícné posouzení rukopisu a konstruktivní připomínky.

LITERATURA

Bayliss, P., 1975: Nomenclature of the trioctahedral chlorites. – Canadian Mineralogist, 13, 178–180.

Becker, M., De Villiers, J., Bradshaw, D., 2010: The mineralogy and crystallography of pyrrhotite from selected nickel and PGE ore deposits. – Economic Geology, 105, 1025–1037.

Bernard, J. H., 1981: Minerály rudonosných hydrotermálních procesů – Český masív. – In: Bernard, J.H., Čech, F., Dávidová, Š., Dudek, A., Fediuk, F., Hovorka, D., Kettner, R., Koděra, M., Kopecký, L., Němec, D., Paděra, K., Petránek, J., Sekanina, J., Staněk, J., Šímová, M. (eds.) Mineralogie Československa: 186–343. Academia, Praha.

Biagioni, C., D'Orazio, M., Fulignati, P., George, L. L., Mauro, D., Zaccarini, F., 2020: Sulfide melts in ore deposits from low-grade metamorphic settings: Insights from fluid and Tl-rich sulfosalt microinclusions from the Monte Arsiccio mine (Apuan Alps, Tuscany, Italy). – Ore Geology Reviews, 123, 103589.

Cathelineau, M., 1988: Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature. – Clay Minerals, 23, 471–485.

Dobeš, P., Malý, K., 2001: Mineralogie polymetalických rudních výskytů ve střední části havlíčkobrodského revíru. – Vlastivědný sborník Vysočiny, oddíl přírodních věd, 15, 51–85.

Doleželová, T., 2015: Hydrotermální alterace vybraných typů hornin v havlíčkobrodském rudním revíru (moldanubikum). – MS, diplomová práce, UP Olomouc.

Dolníček, Z., subm.: Minerální asociace symplektitového granátického metaultramafitu z lomu Pohled u Přibyslavi (moldanubická oblast Českého masivu). – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku.

Dolníček, Z., Nepejchal, M., 2025: Tellurem obohacený polybasit a doprovodné minerály z lokality Ruda u Rýmařova, hornoměstský rudní revír, Česká republika. – Acta Musei Moraviae, Scientiae geologicae, 110, 1, 143–152.

Dolníček, Z., Ulmanová, J., 2021: Pb-Bi mineralizace v amfibolitech z lomu Libodřice u Kolína (kutnohorské krystalinikum, Česká republika). – Bulletin Mineralogie Petrologie, 29, 1, 6–15.

Dolníček, Z., Malý, K., Ulmanová, J., Havlíček, J., Vrtiška, L., 2020: Minerály kontaminovaných granitových pegmatitů z lomu Pohled u Havlíčkova Brodu (moldanubikum), část I: oxidy, karbonáty, silikáty a fosfáty. – Bulletin Mineralogie Petrologie, 28, 132–151.

Dolníček, Z., Ulmanová, J., Malý, K., Havlíček, J., Sejkora, J., 2021: Minerály kontaminovaných granitových pegmatitů z lomu Pohled u Havlíčkova Brodu (moldanubikum), část II: prvky a sulfidy. – Bulletin Mineralogie Petrologie, 29, 90–107.

Dolníček, Z., Ulmanová, J., Malý, K., Havlíček, J., Krejčí Kotlánová, M., Koutňák, R., 2023: Mineralogická charakteristika žilné křemenné mineralizace s molybdenitem z lomu Pohled, havlíčkobrodský rudní revír, Česká republika. – Acta Musei Moraviae, Scientia geologicae, 108, 2, 145–170.

Dolníček, Z., Ulmanová, J., Vrtiška, L., Malý, K., Krejčí Kotlánová, M., Koutňák, R., 2024: Mineralogy and origin of vein wolframite mineralization from the Pohled quarry, Havlíčkův Brod Ore District, Czech Republic: Interaction of magmatic and basinal fluids. – Minerals, 14, 6, 610.

Hak, J., Johan, Z., 1961: Mineralogicko-geochemický výzkum indiové anomálie Pohled u Havlíčkova Brodu. – Sborník geologických věd, řada technologie geochemie, 2, 77–101.

Havlíček, J., Výravský, J., Malý, K., 2018: Nálezy zeolitů v lomu Pohled u Havlíčkova Brodu. – Acta Rerum Naturalium, 22, 1–4.

Hofmann, B. A., 1994: Formation of a sulfide melt during Alpine metamorphism of the Lengenbach polymetallic sulfide mineralization, Binntal, Switzerland. – Mineralium Deposita, 29, 439–442.

Hofmann, B. A., Knill, M. D., 1996: Geochemistry and genesis of the Lengenbach Pb-Zn-As-Tl-Ba-mineralisation, Binn Valley, Switzerland. – Mineralium Deposita, 31, 319–339.

Houzar, S., 1995: Grafitické kvarcity s vanad obsahujícími minerály v moravském moldanubiku. – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 1994, 89–90.

Kadlec, T., 2018: Nález scheelitového zrudnění v kamenolomu Pohled u Havlíčkova Brodu. – Minerál 24, 6, 502–508.

Kadlec, T., Venclík, V., Pauliš, P., 2018: Nález zeolitů a doprovodné mineralizace z žil alpského typu a hydrotermálně alterovaných pegmatitů v kamenolomu Pohled u Havlíčkova Brodu. – Minerál 24, 5, 107–118.

Klein, F., Bach, W., 2009: Fe-Ni-Co-O-S phase relations in peridotite-seawater interactions. – Journal of Petrology, 50, 37–59.

Klemm, D., 1965: Synthesen und Analysen in den Dreiecksdiagrammen FeAsS-CoAsS-NiAsS und FeS_2-CoS_2-NiS_2. – Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen, 103, 205–255.

Kontny, A., De Wall, H., Sharp, T. G., Pósfai, M., 2000: Mineralogy and magnetic behavior of pyrrhotite from a 260 °C section at the KTB drilling site, Germany. – American Mineralogist, 85, 1416–1427.

Leake, B. E., Woolley, A. R., Arps, Ch. E. S., 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. S., Schumacher, J. C., Smith, D. C., Stephenson, N. C. N., Ungaretti, L., Eric, J. W., 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. – Canadian Mineralogist, 35, 219–246.

Mastíková, E., 2009: Geologická dokumentace lomu Pohled (moldanubikum). – Bakalářská práce, Univerzita Palackého Olomouc.

Mastíková, E., 2011: Mineralogie a podmínky vzniku vybraných mineralizací v lomu Pohled (moldanubikum). – Diplomová práce, Univerzita Palackého Olomouc.

Melka, K., 1965: Návrh na klasifikaci chloritových minerálů. – Věstník Ústředního ústavu geologického, 40, 23–27.

Morimoto, N., Fabries, J., Ferguson, A. K., Ginzburg, I. V., Ross, M., Seifert, F. A., Zussman, J., 1989: Nomenclature of pyroxenes. – Canadian Mineralogist, 27, 143–156.

Oen, I. S., 1973: A peculiar type of Cr-Ni mineralization; cordierite-chromite-niccolite ores of Málaga, Spain, and their possible origin by liquid unmixing. – Economic Geology, 68, 831–842.

Pauliš, P., Kopecký, S., Jebavá, I., Havlíček, J., 2013: Nové mineralogické nálezy z kamenolomu Pohled u Havlíčkova Brodu. – Minerál 21, 4, 317–322.

Pouchou, J. L., Pichoir, F., 1985: "PAP" ($\phi\rho Z$) procedure for improved quantitative microanalysis. In: Armstrong, J. T. (Ed.) Microbeam Analysis: 104–106. San Francisco Press, San Francisco.

René, M., Dolníček, Z., 2023: Granitoids of the Mauthausen type in the Czech part of the Moldanubian Batholith. – In: René, M. (Ed.): Recent Advances in Mineralogy, pp. 11–29. InTech Open.

Rieder, M., Cavazzini, G., D'yakonov, Y. S., Kamenetskii, V. A. F., Gottardi, G., Guggenheim, S., Koval', P. V., Mueller, G., Neiva, A. M. R., Radoslovich, E. W., Robert, J. L., Sassi, F. P., Takeda, H., Weiss, Z., Wones, D. R., 1998: Nomenclature of micas. Canadian Mineralogist, 36, 905–912.

Tomkins, A. G., Mavrogenes, J. A., 2002: Mobilization of gold as a polymetallic melt during pelite anatexis at the Challenger gold deposit, South Australia: a metamorphosed Archean deposit. – Economic Geology, 100, 781–786.

Turek, K., 2006: Charakteristika ultrabazických uzavřenin v horninách moldanubika na lokalitách Polnička a Pohled. – Bakalářská práce, Masarykova univerzita Brno.

Turek, K., 2008: Charakteristika ultrabazických uzavřenin v horninách moldanubika na lokalitách Polnička a Pohled. – Diplomová práce, Masarykova univerzita Brno.

Warr, L. N., 2021: IMA–CNMNC approved mineral symbols. – Mineralogical Magazine, 85, 291–320.

Welser, P., Záruba, J., 2004: Biotitický pegmatit s fluorapatitem od Pohledu u Havlíčkova Brodu. – Bulletin Mineralogicko-petrologického oddělení Národního muzea, 12, 216–219.