

# Cu-skarn v Kotli v Krkonoších (Česká republika)

## Cu-skarn at Mt. Kotel, the Krkonoše Mts., Czech Republic

VLADIMÍR ŽÁČEK

Česká geologická služba, P.O. BOX 85, Klárov 3, 118 21 Praha

ŽÁČEK V. (2008): Cu-skarn v Kotli v Krkonoších (Česká republika). - *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* **16/2**, 230-237. ISSN: 1211-0329.

### Abstract

This paper is focused to geology, petrology and mineralogy of a small Cu-bearing skarn situated at Mt. Kotel in the Krkonoše Mts., Czech Republic. Small gallery from half of 19<sup>th</sup> Century is situated at the altitude of about 1344 m. The skarn belongs to the Krkonoše-Jizera LT/MP-HT metamorphic complex, close to the contact with the Variscan Krkonoše-Jizera Granite Pluton. Skarn is composed from diopside, grossular, quartz, calcite, plagioclase, actinolite and epidote with subordinated vesuvianite, chlorite, fluorite, K-feldspar, apatite and Sn-rich titanite. Ore minerals are represented by abundant chalcopyrite, pyrite, sphalerite, arsenopyrite and scheelite and much rarer Cu-Ag-Fe sulphide, galena, covellite and pyrrhotite. Secondary minerals include malachite, langite, chrysocolla, azurite and „limonite“. Microprobe data of selected silicates and sulphides are presented.

**Key words:** skarn, garnet, vesuvianite, Sn-titanite, sulphides, microprobe data, Mt. Kotel, the Krkonoše Mts., Czech Republic

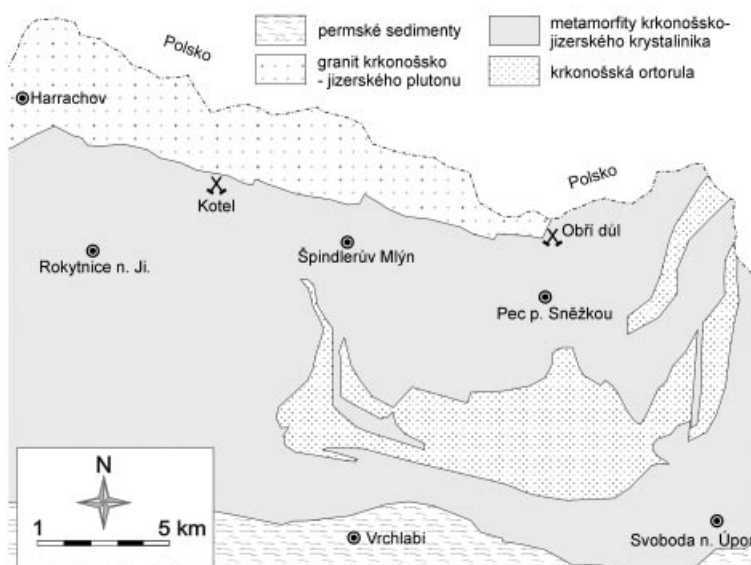
### Úvod

V rámci projektu České geologické služby „Základní geologické mapování vybraných území České Republiky, oblast Krkonošský národní park“, který probíhal v letech 2004 - 2007, byla věnována pozornost také starým důlním dílům, která se nacházela na mapovaném území. V roce 2005 a 2006 byly při geologickém mapování listu 03-234 Horní Mísečky (Žáček 2007; Žáček et al. 2007) odebrány a nově studovány také vzorky rudy a hornin z rudního výskytu v Kotli u Horních Míseček. Lokalita leží v ledovcovém karu Kotle (kóta 1435 m), 3 km sz. od Horních Míseček, 1,2 km z. od Vrbatovy boudy na Zlatém návrší a bývá uváděna v literatuře také pod názvem Kokrháč. Starší práce např. Jokélyho (1861/62), Farského (1861/62) a několika dalších autorů, pod hesly Kokrháč a Kotel Malý, cituje Kratochvíl (1960). Není však jasné, zda někdy nejde o jinou lokalitu, protože např. v případě Malého Kotle se hovoří o „žile měděných rud, jež mají něco galenitu, v žule“, což neodpovídá geologické situaci na lokalitě Kotel. Nověji se lokalitou zabývali zejména Malásek (1957), Chrt (1959), Pošmourný (1979) a Pošmourný, Líbalová (1966). Pilous (1985) uvádí popis montánních tvarů a přináší také fotografie. Mineralogii skarnu se zabýval Šrein (1984), publikovaných analýz skarnových minerálů je však poskrovnu (Šrein et al. 1998). Mineralogii sulfidů studoval Bradna (1985), nepřináší však kvantitativní chemické analýzy minerálů.

Tato práce je zaměřena podrobnější popis geologické situace, petrologii skarnu a přináší analýzy rudních i nerudních minerálů. Oproti starším pracím byly nově zjištěny, vedle několika běžných silikátů, Sn-titanit, Cu-Ag-Fe sulfid, langit a pravděpodobně azurit.

### Geologická stavba a petrologie okolního krystalinika

Okolní území patří geologicky do krkonošsko - jizerského krystalinika a je budováno jednak komplexem metamorfovaných hornin (metasedimentů) proterozoického až spodně paleozoického stáří se složitou vnitřní stavbou, jednak mohutnou intruzí krkonošsko - jizerského granitového plutonu variského (spodně karbonického) stáří (obr. 1). Ve východní části metamorfovaného komplexu vystupuje těleso muskovitické až dvojslídité krkonošské ortoruly, které je místy tektonicky zešupinatěno s metasedimenty. Metasedimenty zahrnují hlavně různé typy krystalických břidlic, zejména fylitů až svorů s pod-



Obr. 1 Přehledná geologická skica krkonošsko - jizerského krystalinika s vyznačením starých důlních prací na Kotli a v Obřím dole.

řízenými vložkami kvarcitů, erlanů až krystalických vápenců a místy také zelených břidlic až amfibolitů. Stupeň metamorfního přepracování je nízký a dosahuje facie zelených břidlic. V tělesech metabazitů z východní části krystalinika byly dokumentovány reliktní asociace vysokotlaké facie modrých břidlic. Krkonošsko-jizerský pluton tvoří intruzivní granitové těleso s dobře vyvinutým kontaktním dvorem o šířce kolem 1 km. Dominantní horninou kontaktního dvora je **muskovitický až dvojslídny svor až rohovec**, místy s cordieritem a andalusitem. Jedná se o horninu dost variabilní co se týče obsahu a poměru jednotlivých minerálů, kde určující vliv na vzhled a minerální asociace má jejich metamorfni přepracování (vzdálenost od plutonu), lokální variabilita protolitu (nabohacení Al, Na, Ca) a intenzita sekundární retrogrese (pinitizace, sericitizace). Mikroskopicky to jsou převážně páskované horniny s více či méně pokročilou separací pásků křemene a fylsilikátů, struktura je hlavně granolepidoblastická, někdy porfyroblastická (růst porfyroblastů albitu). Místy jsou hojné pásky a čočky sekrečního křemene. Byly zjištěny následující minerály: křemen, albit, muskovit, biotit, cordierit, andalusit, K-živec a chlorit, jako akcesorie pak ilmenit, magnetit, turmalín, apatit, zirkon, titanit, hematit, rutil, monazit, pyrit, grafitoidní pigment, „pinit“ po cordieritu, „sericit“ a „limonit“.

Krkonošsko-jizerský pluton buduje v oblasti Kotle **porfyrický biotitický granit**. Ten vystupuje například v opuštěném lomu u Vrbatovy boudy a na nedalekých Harrachových kamenech. Je to výrazně porfyrická hrubozrná hornina s krátce sloupcovitými vyrostlicemi K-živce o velikosti 2 - 5 cm, tvořená dále křemenem, plagioklasem (oligoklas) a biotitem (5 - 10 %) vzácně s akcesorickým amfibolem. V biotitu jsou hojné inkluze apatitu, zirkonu, monazitu, vzácně allanitu a titanitu. V horní západní části hrany karu Přední Kotelny asi 100 m ssz. od štol, probíhá podél kontaktu (ještě však v plášti) **křemenná žila** směru 165° o mocnosti 1.5 - 3 m, která má směrnou délku nejméně několik desítek metrů. Podle bílé barvy je dobře vidět z Harrachových kamenů. Žilu tvoří drúzový bílý křemen s drobnými krystaly křišťálu v dutinách, místy s tenkými povlaky hematitu.

## Metodika

Vzorky byly odebrány na lokalitě Kotel v letech 2005 a 2006. Magnetická susceptibilita byla měřena ručním kapametrem KT5. Ze vzorků byli v laboratořích České geologické služby zhotoveny leštěné výbrusy, které byly dále studovány mikroskopicky a analyzovány na elektronové mikrosondě Cameca SX 100, na sdruženém pracovišti (MU Brno a ČGS Praha) se sídlem na Masarykově univerzitě v Brně, analyzoval Radek Škoda. Rentgenografická data byla získána na difraktografu Phillips X'pert MPD (Cu záření, 40 kV/40 mA, krok 0.05° 2 $\theta$ , doba načítání 5 s, grafitový sekundární monochromátor) v laboratořích České geologické služby v Praze, analytik I. Haladová.

EDX analýzu langitu pořídil J. Malec na elektronové mikrosondě LINK ISIS také v laboratořích ČGS.



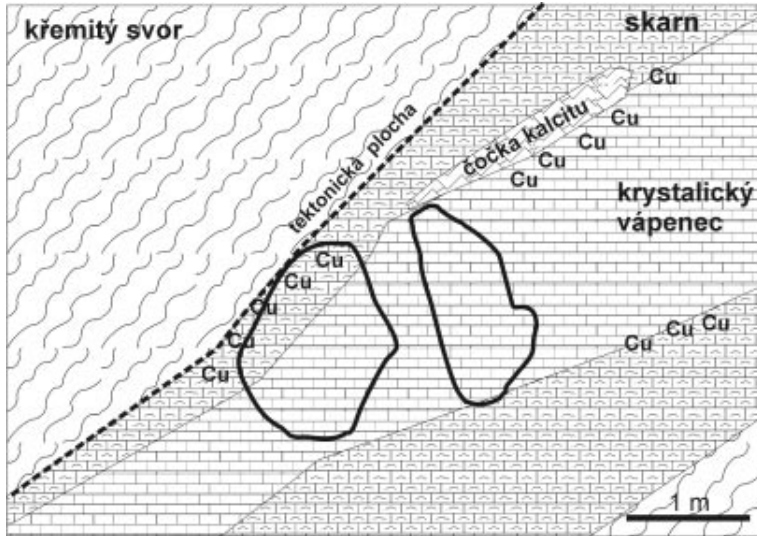
**Obr. 2** Pohled z Harrachových Kamenů na Kotel a do karu Přední Kotelny. Štolka je označena šipkou. Foto V. Žáček, 2005.

## Důlní dílo v Kotli

Lokalita v Kotli se nachází v kontaktní aureole krkonošsko-jizerského granitového plutonu, která tu dosahuje šířky 1 - 1.5 km. Vlastní kontakt s granitovým plutonem probíhá ve vzdálenosti 150 m sv. směrem, přibližně středem Přední Kotelny a pokračuje směrem na západ přibližně k Růženčině zahrádce a pak dál na ZSZ po severním úbočí Kotle, Lysé Hory, Zadního Plechu a Plešivce směrem na Harrachov. Ve svahu nad štolou se nacházejí také úlomky skarnu až erlanu a drobně zrnitého černého amfibolitu, svědčící pro větší počet těchto pestrých vložek. Na výchozech kontaktních břidlic v blízkém okolí lokality jsou hojné diskordantní proniky šedobílého aplitu decimetrové velikosti.

Štolka je situovaná na skalnatém předělu mezi kary Kotelních jam, tj. Přední a Zadní Kotelnou tam, kde tento skalnatý hřebínek začíná vystupovat z linie travnatých svahů, cca 220 m jv. od vrcholu Kotle. Podle vlastního měření barometrickou GPS leží v nadmořské výšce 1344 m, podle Pilouse (1985) ve výšce 1370 m. V každém případě představuje nejvýše položené důlní dílo v Krkonoších a asi i v České republice. Její ústí je vidět z vyhlídky z Harrachových kamenů, ale v členitém skalnatém terénu je těžko naležitelné (obr. 2.). Štolka je zaražena do pestré sekvence krystalického vápence, skarnu a křemitého svoru (kontaktní břidlice). Další čočka krystalického vápence s polohami skarnu a pásky slídnatého svoru pravděpodobně bez zrudnění vychází ve svahu asi 5 m nad štolou.

Ze štolového zářezu (povrchové dobývky) se zbytky základky vedou dvě rozrážky (obr. 3). Větší levá rozrážka má směr 90°, délku asi 5 m, šířku 1510 - 180 cm, výšku 120 - 250 cm, v celé její délce stojí voda od počvy 50 - 100 cm. Tvar štol a zbytky zrudnění svědčí pro sledování rudní čočky. Pravá rozrážka je rudou chudá, dlouhá cca 200 cm, má výšku cca 180 cm a šířku jen 60 - 100 cm. Zbytek ploché haldy na ploše asi 15 x 15 m je ve svahu pod štolou. Halda asi bývala větší, ale materiál byl během času snášen lavinami, jak o tom svědčí nálezy rudniny na dně karu Přední Kotelny o několik set metrů níž. Celá oblast Kotelních jam leží ve státní přírodní rezervaci v Krkonošském národním parku.



**Obr. 3** Řez skarnovou čockou v Kotli přibližně v úrovni stěny nad štolovým zářezem s vyznačením obrysu obou štol (obr. 4). Označení „Cu“ značí významnější přítomnost měděné mineralizace.

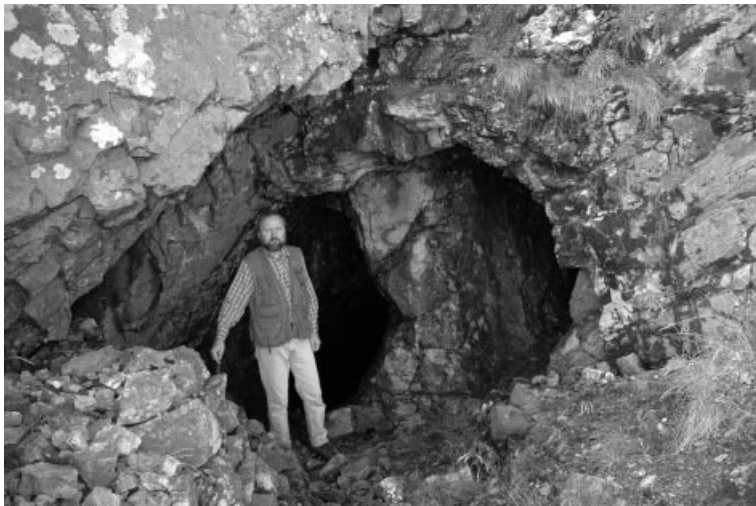
### Petrologie a mineralogie skarnu

Skarn je součástí 4 - 6 m mocné, čočkovitě nadešené polohy krystalického (dolomitického?) vápence, která vystupuje v plášti tvořeném křemenem bohatým muskovitickým svorem a zapadá pod mírným až středním úhlem (cca 30°) přibližně k jihu. Při nadloží je mezi skarnem a svorem tektonická zóna ukazující, že se může jednat o budinu. Vlastní skarn se zrudněním vystupuje v mocnosti 0.5 - 1 m v lemu zmíněné karbonátové polohy (obr. 3, 4, 5).

Skarn je drobně až hrubě zrnitý, místy i celistvý, závalkovitý až páskovaný, velmi heterogenní. Velmi zjednodušeně lze vyčlenit dva hlavní skarnové typy.

První typ je složený hlavně z nazelenalého diopsidu a ze světle červeného granátu s převahou grossularové komponenty s podřízeným vesuvianem; druhý typ bez granátu i pyroxenu je naopak bohatý křemenem, silně sericitizovaným živcem, vláknitým aktinolitem a epidotem. Akcesoricky se vyskytují apatit, titanit, fluorit a scheelit. Většina bohatě zrudněných vzorků s chalkopyritem patří druhému typu. Magnetická susceptibilita všech typů skarnu je velmi nízká a kolísá v rozmezí 0.05 - 0.10 ( $10^{-3}$  SI).

Ruda je vtoušena porůznu ve skarnu, nejbohatší akumulace jsou však při jeho kontaktu s krystalickým vápencem. Zrudnění je vtoušené až závalkovité, převažuje chalkopyrit nad pyritem a sfaleritem. Ještě méně častý je arsenopyrit. Na puklinách zrudněného skarnu je hojný sekundární malachit a pravděpodobně chryzokol a azurit, vzácnější je langit. Průměr obsahu kovů z několika zásekových vzorků uvádějí Šrein et al. (1998): Cu 0.64 hm. %, Pb 0.032 hm. %, Zn 0.037 hm. %. V nejbohatších rudách je asi 10 % podíl sulfidů, většinou s převahou chalkopyritu nad pyritem. Nejbohatší zrudněné vzorky byly nalezeny v haldovém materiálu



←  
↑  
**Obr. 4** Štolka na Kotli, foto V. Žáček, říjen 2006.

**Obr. 5** V pilíři mezi oběma rozrážkami je do krystalického vápence vytesán letopočet 1863 nebo 1868, iniciály H.B. a symbol zkříženého želízka a mlátku. Foto V. Žáček, 2005.

případně v základce, zatímco zrudněný skarn ve štole obsahoval mnohem méně sulfidů. Je tudíž pravděpodobné, že těžená ruda byla bohatší.

Ve skarnu byly zjištěny následující minerály: kalcit, křemen, plagioklas, grossular, diopsid, vesuvian, epidot, aktinolit, chlorit, K-živce, titanit, fluorit, fluorapatit, zirkon; z rudních minerálů pak pyrit, chalkopyrit, arsenopyrit, sfalerit, scheelit a Ag-Cu-Fe sulfid.

Sekundární minerály zahrnují „sericit“, malachit, langit, azurit?, chryzokol? a „limonit“.

Bradna (1985) uvádí navíc molybdenit, covellin a galenit, vesměs pouze v nábrusech, Šrein et al. (1998) zjistili také pyrhotin.

**Granát** je celistvý a vystupuje spolu s diopsidem v bledých, světle šedě oranžových agregátech až několik cm velkých. Chemicky jde o grossular s podřízeným obsahem andraditové komponenty ( $\text{Grs}_{0.78-0.92}\text{Adr}_{0.08-0.17}\text{Sps}_{0.01-0.02}\text{Pyr}_{0.00-0.01}$ ). Je chudý Sn (do 0.23 hm. %  $\text{SnO}_2$ ) i F (nejvýše 0.11 hm. %). Naproti tomu deficit Si a nízké analytické sumy svědčí pro obsah kolem 1 hm. % vody (tab. 1).

**Klinopyroxen** je hlavní komponentou skarnu, tvoří masivní i krystalické agregáty šedozelené až trávově zelené barvy spolu s granátem a kalcitem. Chemicky jde o Fe-bohatý diopsid ( $\text{XMg}$  0.66 - 0.87), chudý Al i Na (tab. 2).

**Epidot** tvoří krátce až dlouze sloupcovité idiomorfny krystaly dlouhé od několika desetin mm až do délky kolem 5 mm, zarostlé ve zrudněném skarnu většinou v křemenu spolu s aktinolitem. Makroskopické krystaly se zdají být

**Tabulka 1** Chemické složení granátu (hm. %). Přepočítáno na 8 kationtů, výpočet  $\text{Fe}^{3+}$  podle valencí.

$\text{SiO}_2$	38.95	38.98	38.62	38.72	38.92
$\text{TiO}_2$	0.56	0.24	0.34	0.08	0.24
$\text{Al}_2\text{O}_3$	19.40	20.23	20.13	20.42	19.99
$\text{FeO}^{\text{tot}}$	4.03	3.08	2.90	2.82	3.58
MnO	0.16	0.14	0.21	0.20	0.08
MgO	0.21	0.05	0.06	0.05	0.09
CaO	35.89	36.60	36.44	36.34	36.19
$\text{SnO}_2$	0.00	0.05	0.22	0.23	0.00
F	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00
-O=F			0.04		
total	99.20	99.36	98.88	98.86	99.09
Si	2.984	2.972	2.964	2.969	2.978
Ti	0.032	0.014	0.020	0.005	0.014
Al	1.752	1.818	1.820	1.845	1.803
$\text{Fe}^{3+}$	0.248	0.182	0.180	0.155	0.197
$\text{Fe}^{2+}$	0.010	0.015	0.007	0.026	0.032
Mn	0.010	0.009	0.013	0.013	0.005
Mg	0.024	0.005	0.007	0.005	0.010
Ca	2.947	2.990	2.996	2.985	2.967
total	8.007	8.005	8.006	8.003	8.007
Alm	0.003	0.005	0.002	0.009	0.011
Pyr	0.008	0.002	0.002	0.002	0.003
Sps	0.003	0.003	0.004	0.004	0.002
Grs	0.845	0.893	0.892	0.907	0.879
Ti-Grs	0.016	0.007	0.010	0.002	0.007
Adr	0.124	0.090	0.089	0.077	0.098

**Tabulka 2** Chemické složení klinopyroxenu a K-živce (hm. %). Přepočítáno na 6 resp. 8 kyslíkových atomů.

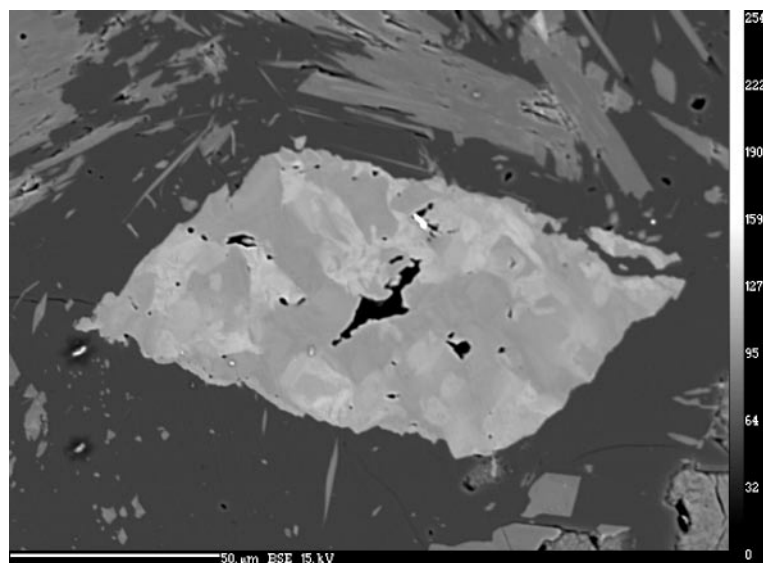
	klinopyroxen								K-živce			
$\text{SiO}_2$	53.65	53.22	53.45	53.48	53.62	53.75	53.00	54.71	51.66	64.71	64.23	64.78
$\text{TiO}_2$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0.19	0.42	0.47	0.47	0.28	0.16	0.20	0.23	0.17	18.32	18.78	18.29
$\text{FeO}^{\text{tot}}$	8.20	7.92	7.76	7.36	7.90	8.39	10.69	4.16	15.63	0.08	0.00	0.00
MnO	0.20	0.15	0.20	0.95	0.97	0.27	0.30	0.10	0.77	0.00	0.00	0.00
MgO	12.91	13.20	13.45	13.15	12.90	12.99	11.39	16.21	7.86	0.00	0.00	0.00
CaO	25.03	25.29	25.53	24.86	25.08	25.28	25.19	25.03	24.31	0.00	0.00	0.00
$\text{Na}_2\text{O}$	0.12	0.11	0.12	0.00	0.08	0.09	0.07	0.13	0.00	0.15	0.74	0.85
$\text{K}_2\text{O}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.13	14.94	15.33
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	1.19	0.06
$\text{Nb}_2\text{O}_5$	0.12	0.11	0.12	0.00	0.08	0.09	0.07	0.13	0.00			
total	100.42	100.42	101.09	100.26	100.91	101.01	100.92	100.69	100.40	99.69	99.88	99.45
Si	2.000	1.984	1.979	1.993	1.993	1.995	1.992	1.994	1.998	3.002	2.981	3.002
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
Al	0.008	0.018	0.021	0.021	0.012	0.007	0.009	0.010	0.008	1.002	1.027	0.999
$\text{Fe}^{2+}$	0.256	0.247	0.240	0.229	0.246	0.260	0.336	0.127	0.505	0.003	0.000	0.000
Mn	0.006	0.005	0.006	0.030	0.031	0.008	0.009	0.003	0.025	0.000	0.000	0.000
Mg	0.717	0.734	0.742	0.730	0.715	0.719	0.638	0.880	0.453	0.000	0.000	0.000
Ca	0.999	1.010	1.013	0.993	0.999	1.005	1.014	0.977	1.007	0.000	0.000	0.000
Na	0.008	0.008	0.008	0.000	0.006	0.006	0.005	0.009	0.000	0.013	0.067	0.077
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.955	0.885	0.907
Ba	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.022	0.001
Nb	0.002	0.002	0.002	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.000			
total	3.998	4.008	4.012	3.996	4.002	4.003	4.005	4.003	3.998	4.981	4.981	4.990
XMg	0.737	0.748	0.756	0.761	0.744	0.734	0.655	0.874	0.473			
XAb										0.014	0.069	0.078
XKf										0.981	0.909	0.918
XCn										0.006	0.022	0.001

XMg = Mg/(Mg+Fe). XAb = Na/(K+Na+Ba). XKf = K/(K+Na+Ba). XCn = Ba/(K+Na+Ba).

**Tabulka 3** Chemické složení vesuvianu, epidotu a amfibolu (hm. %)

mineral	vesuvian			epidot			amfibol			
SiO <sub>2</sub>	36.10	34.65	35.88	37.91	37.95	38.46	51.97	52.58	51.62	51.65
TiO <sub>2</sub>	2.00	3.91	3.62	0.05	0.00	0.00	0.07	0.10	0.06	0.11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.29	14.00	15.49	25.47	24.10	24.79	2.56	2.64	4.71	3.06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>tot</sup>				9.16	11.29	9.97				
FeO <sup>tot</sup>	2.75	3.38	3.00				17.52	16.36	14.91	16.71
MnO	0.00	0.00	0.00	0.24	0.11	0.18	1.15	0.92	0.81	1.04
MgO	2.09	1.93	2.10	0.05	0.04	0.00	11.38	12.52	12.62	11.68
CaO	35.23	33.83	35.57	23.78	23.77	23.67	12.46	12.31	12.43	12.17
Na <sub>2</sub> O	0.18	0.17	0.09	0.00	0.00	0.00	0.18	0.13	0.30	0.27
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.11	0.16	0.11
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.18	0.17	0.09	0.00	0.00	0.00	0.18	0.13		
*H <sub>2</sub> O	2.09	1.84	1.88	1.97	1.96	1.97	2.02	2.04	2.05	2.01
F	0.78	1.07	1.23	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.00	0.08	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-O=F	0.33	0.45	0.51	0.05						
-O=Cl		0.02	0.01							
total	97.34	94.57	98.45	98.68	99.22	99.04	99.62	99.83	99.65	98.80
O, OH, F	38	38	38	12.5	12.5	12.5	24	24	24	24
Si	8.810	8.769	8.697	2.894	2.903	2.930	7.713	7.722	7.547	7.689
Ti	0.366	0.745	0.659	0.003	0.000	0.000	0.008	0.011	0.007	0.013
Al	4.684	4.175	4.424	2.291	2.173	2.226	0.447	0.456	0.812	0.537
Fe <sup>3+</sup>				0.526	0.650	0.572				
Fe <sup>2+</sup>	0.560	0.715	0.609				2.175	2.009	1.822	2.080
Mn	0.000	0.000	0.000	0.015	0.007	0.012	0.145	0.115	0.100	0.131
Mg	0.760	0.729	0.760	0.005	0.005	0.000	2.518	2.740	2.750	2.592
Ca	9.211	9.175	9.237	1.944	1.948	1.932	1.981	1.937	1.946	1.941
Na	0.083	0.084	0.043	0.000	0.000	0.000	0.051	0.037	0.084	0.077
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.025	0.020	0.029	0.020
Nb	0.019	0.020	0.010	0.000	0.000	0.000	0.012	0.009		
H	3.402	3.106	3.040	1.003	1.000	1.001	2.000	1.998	1.999	1.996
F	0.600	0.857	0.940	0.028	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cl	0.000	0.035	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
total	28.494	28.410	28.436	8.710	8.686	8.672	17.076	17.054	17.096	17.077
XMg							0.537	0.577	0.601	0.555

\* obsahy H<sub>2</sub>O byly vypočteny podle stechiometrie, XMg = Mg/(Mg+Fe)



**Obr. 6** SEM mikrofoto nepravidelně zonálního krystalu titanitu. Světlé šmouhy a skvrny odpovídají zvýšeným koncentracím cín. Okolní minerál je křemen, zejména v horní části snímku pak vystupuje prismatický až jehlicovitý aktinolit. Foto R. Škoda.

černé a připomínají turmalín. Epidot obsahuje kolem 10 hm. % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al/(Al+Fe) = 0.77 - 0.81 (tab. 3).

**Aktinolit** je šedozelený, jemně dlouze vláknitý, paprscitý, hedvábně lesklý, tvoří akumulace až několik dm velké spolu s křemenem, epidotem a chalkopyritem, obsahuje také vtroušený scheelit. Jeho chemické složení je vyrovnané a odpovídá Mg-bohatému aktinolitu (Si = 7.54 - 7.72 *apfu*, XMg = 0.54 - 0.60) (tab. 3).

**Vesuvian** tvoří hypidiomorfní izometrická masově červená zrna až 2 mm velká, zarostlá v granát-pyroxen-epidotickém skarnu. Chemické složení vesuvianu je uvedeno v tabulce 3.

**K-živec** obsahuje do 1.2 hm. % BaO a až 0.85 hm. % Na<sub>2</sub>O (viz tab. 2).

**Titanit** bohatý Sn byl zjištěn jako akcesorie ve skarnu tvořeném křemenem, epidotem a aktinolitem s vtroušeným chalkopyritem. Tvoří idiomorfní, někdy částečně korodované krystaly kosočtverečného průřezu uzavřené v křemeni, o velikosti do 0.2 mm. Titanit je velmi nehomogenní i v rámci jediného zrna (obr. 6) a obsahuje kolísavý podíl SnO<sub>2</sub>

**Tabulka 4** Chemické složení titanitu (hm. %). Přepočteno na základě 5 atomů kyslíku.

SiO <sub>2</sub>	29.28	30.44	30.44	29.24	29.17	30.63	29.79	30.51	30.50	30.30	30.45
TiO <sub>2</sub>	25.97	35.30	36.30	33.07	32.66	31.47	31.79	33.77	35.00	39.08	36.30
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.28	3.22	2.60	0.98	1.10	5.54	2.51	4.16	3.58	1.57	2.62
FeO <sup>tot</sup>	1.18	0.69	0.32	0.20	0.20	0.45	0.30	0.26	0.24	0.14	0.44
MnO	0.00	0.00	0.00	0.09	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.04	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	27.89	28.95	29.04	27.29	27.65	28.89	28.21	29.14	29.44	29.09	28.53
ZrO <sub>2</sub>	0.00	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.47	0.45	0.10	0.00
SnO <sub>2</sub>	9.93	0.17	0.07	8.73	9.45	1.81	6.50	0.26	0.29	0.00	0.40
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.38	0.12	0.34	0.18	0.10	0.77	0.32	0.34	0.15	0.00
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	1.74	0.86	0.87	0.22	0.24	1.82	0.68	1.24	0.99	0.44	0.78
-O=F	0.73	0.36	0.37	0.09	0.10	0.76	0.28	0.52	0.42	0.18	0.33
SUM	99.58	100.10	99.53	100.06	100.63	99.94	100.47	99.62	100.41	100.73	99.19
Si	0.997	0.989	0.993	0.994	0.990	0.993	0.995	0.992	0.987	0.981	0.998
Ti	0.665	0.863	0.891	0.845	0.833	0.768	0.798	0.825	0.851	0.951	0.894
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
Al	0.172	0.123	0.100	0.039	0.044	0.212	0.099	0.159	0.136	0.060	0.101
Fe <sup>2+</sup>	0.034	0.019	0.009	0.006	0.006	0.012	0.008	0.007	0.007	0.004	0.012
Mn	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.002	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	1.018	1.008	1.015	0.994	1.005	1.004	1.009	1.015	1.020	1.009	1.001
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Zr	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.011	0.011	0.002	0.000
Sn	0.135	0.002	0.001	0.118	0.128	0.023	0.087	0.003	0.004	0.000	0.005
Nb	0.000	0.006	0.002	0.005	0.003	0.001	0.012	0.005	0.005	0.002	0.000
Ta	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
F	0.188	0.088	0.090	0.024	0.026	0.186	0.071	0.127	0.101	0.045	0.081
total	3.210	3.109	3.107	3.027	3.036	3.200	3.084	3.145	3.122	3.055	3.093

v rozmezí 0.0 - 9.9 hm %, tj. cca do 15 mol. % malayaitové komponenty, vedle zvýšené koncentrace Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0.0 - 0.77 hm. %). Také koncentrace Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a potažmo F dost výrazně kolísají (tab. 4). Podobně Sn-bohaté titanity, ale až i téměř čistý malayait, CaSnSiO<sub>5</sub> (obsahující až 52.3 hm. % SnO<sub>2</sub>) popsal již dříve Šrein (1985) ze skarnu z Obřího dolu.

**Fluorapatit** byl zjištěn jako akcesorie. Je chudý REE (viz tab. 5). **Zirkon** byl určen jen pomocí EDAXu, je také chudý REE.

**Pyrit** je poměrně hojný jako závalky několik mm až cca 1 cm velké. Zrna mají nepravidelný laločnatý tvar a vyplňují prostory mezi zrny, agregáty a krystaly starších silikátů. Je starší než chalkopyrit, který ho obrůstá (obr. 7). Bradna (1985) popsal také idiomorfni krystaly pyritu uzavřené v chalkopyritu. Chemicky je pyrit téměř bez příměsí, s obsahy As do 0.2 hm. % (tab. 6).

**Chalkopyrit** je velmi hojný spolu s podřízeným pyritem hlavně ve skarnu tvořeném, sericitizovaným plagioklasem, křemenem, aktinolitem, epidotem a chloritem. Tvoří nepravidelné závalky a vtroušená zrna do velikosti cca 2 cm; podle morfologie zrn vznikly sulfidy po krystalizaci silikátových minerálů. Je téměř stechiometrický, chudý na příměsi (tab. 6).

**Sfalerit** je poměrně hojně vtroušený ve zrudněném skarnu spolu s chalkopyritem. Tvoří většinou jen mikroskopická zrna do cca 0.3 mm. Je bohatý železem (8 - 10.5 hm. %) a kadmíem (2.6 - 4.6 hm. %, tab. 6).

**Arsenopyrit** byl zjištěn nehojně v nábrusech jako mladší sulfid při okrajích a na trhlínách zrn pyritu, většinou v drobných agregátech do 30 mikrometrů. V jednom vzorku nalezeném v základce byl nalezen také makrosko-

**Tabulka 5** Chemické složení apatitu (hm. %)

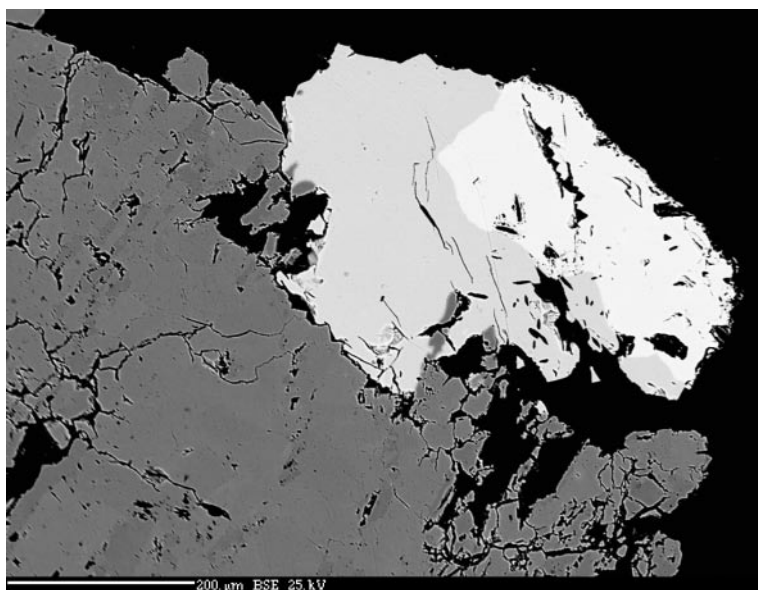
	1	2	3
SiO <sub>2</sub>	0.00	0.20	0.60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00
FeO <sup>tot</sup>	0.00	0.00	0.00
MnO	0.00	0.00	0.00
CaO	57.17	56.53	55.94
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.28	0.64
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	41.82	42.49	41.46
SO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00
F	4.24	4.04	3.70
Cl	0.00	0.00	0.05
-O=F	1.78	1.70	1.55
-O=Cl	0.00	0.00	0.01
SUM	101.44	101.83	100.82

pický arsenopyrit jako „lité agregáty“ šedobílé kovové barvy až 2 cm velké a kosočtverečné krystaly až 1 cm velké zarostlé v kalcitickém skarnu s aktinolitem a epidotem. Chemicky je chudý příměsemi, jen při okrajích krystalů byla zjištěna zóna nabohacená Co (až 1.18 hm. %, tab. 6).

**Cu-Fe-Ag sulfid** byl nalezen jako jediné kostrovité zrnko o velikosti asi 145 x 50 mikrometrů narostlé při okrajích velkého pyritového agregátu. Chemické složení bylo zkoumáno pouze semikvantitativně pomocí EDAXu, který ukázal výraznou zonalitu; v centru zrna byla převaha mědi (Cu>Fe>Ag), při okrajích pak stříbra (Ag>Cu>Fe).

Tabulka 6 Chemické složení sulfidů (hm%)

minerál	chalkopyrit			pyrit			sfalerit			arsenopyrit	
Fe	31.10	31.00	30.90	46.73	46.45	46.75	10.24	10.47	8.05	35.17	33.72
Co	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.12	0.01	0.02	0.03	0.10	1.18
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03
Cu	34.01	34.25	34.34	0.00	0.01	0.00	0.44	0.08	0.68	0.00	0.01
Mn				0.01	0.00	0.00	0.24	0.14	0.09	0.01	0.01
Zn	0.03	0.03	0.05	0.01	0.00	0.00	53.80	52.43	54.27	0.00	0.00
Cd	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.02	2.60	4.21	4.62	0.00	0.00
As	0.00	0.00	0.00	0.18	0.14	0.01	0.02	0.01	0.00	43.30	45.16
S	34.91	34.81	34.92	53.31	53.38	53.21	33.01	32.86	33.06	21.31	19.98
Total	100.05	100.09	100.22	100.24	100.12	100.15	100.35	100.21	100.79	99.90	100.08
Fe	1.021	1.019	1.014	1.003	0.997	1.004	0.177	0.183	0.140	1.007	0.978
Co	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.003	0.032
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
Cu	0.981	0.989	0.990	0.000	0.000	0.000	0.007	0.001	0.010	0.000	0.000
Mn				0.000	0.000	0.000	0.004	0.002	0.002	0.000	0.000
Zn	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.795	0.781	0.807	0.000	0.000
Cd	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022	0.036	0.040	0.000	0.000
As	0.000	0.000	0.000	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.925	0.977
S	1.997	1.992	1.995	1.994	1.996	1.991	0.995	0.998	1.002	1.064	1.010
total	4.001	4.001	4.000	3.000	2.999	3.000	2.000	2.002	2.002	2.999	2.998



Obr. 7 Agregát pyritu (šedý) a chalkopyritu (světější) srůstajícího se sfaleritem (nejsvětější). Sulfidy jsou zarostlé do skarnu tvořeného křemenem, aktinolitěm a epidotem (na snímku černé). SEM mikrofotografie R. Škoda.

**Scheelit** byl zjištěn v několika vzorcích skarnu pomocí UV lampy. Je vtoušený ve skarnu tvořeném křemenem, aktinolitěm a epidotem jako ojedinělá zrna šedobílé barvy o velikosti do 4 mm.

**Malachit** je hojný jako zelené krystalické až zemité povlaky až tenké krystalické kůry na trhlinách zrudněného skarnu. Byl potvrzen rentgenograficky ve vzorku Ko1 v podřízeném množství společně s langitem a muskovitem. Hlavní zjištěné difrakce: 5.973/9, 5.044/16, 3.694/16, 3.026/9, 2.991/6, 2.852/13, 2.522/15.

**Azuritu** patří pravděpodobně tmavě modré práškovité nálety na puklinách zvětralé měděné rudy, barevně odlišné od langitu. Pro nepatrné množství materiálu nebyl blíže zkoumán.

**Langit** vznikl recentně jako blankytně tenké krystalické kůry až několik cm<sup>2</sup> velké, které povlékají úlomky krystalického vápence v haldovém materiálu. Jednotlivé krystalky jsou jasně modré, sloupcovité až izometrické a charakteristicky stupňovité, obvykle o velikosti jen několika desetin mm. EDAX prokázal v modrých krystalech jen podstatné množství Cu a S. Rentgenograficky byl langit identifikován ve směsi s malachitem a muskovitem. Hlavní zjištěné difrakce jsou: 7.132/100, 3.562/80, 3.191/4, 2.609/9, 2.374/7, 2.128/6, 3.813/3.

**Chryzokol** tvoří na puklinách tenké modrozelené povlaky s drobně hroznovitým povrchem.

„**Limonit**“ vytváří okrové agregáty po zvětralém pyritu a chalkopyritu.

## Závěr

Výskyt rud na Kotli byl hornicky pravděpodobně otevřen až v polovině 19. století. Ložiskově jde o bezvýznamný výskyt, vzhledem k malému rozměru zrudněné zóny a nevhodné geografické poloze v rezervaci Krkonošského národního parku. Geneticky jde o polymetalický skarn, spjatý s působením termálních účinků a fluid krkonošskojizerského plutonu na krystalický vápenec, se zrudněním Cu, Zn, As, W (Pb, Ag, Mo). Skarn je tvořen diopsidem, grossularem, křemenem, kalcitem, plagioklasem, aktinolitěm a epidotem, podružně až akcesorické jsou vesuvian, chlorit, fluorit, K-živce a Sn-titanit. Rudní minerály jsou zastoupeny chalkopyritem, pyritem, sfaleritem, arsenopyritem, scheelitem a vzácně se vyskytujícími Cu-Ag-Fe sulfidem, galenitem, covelinem, a pyrhotinem. Sekundární jsou malachit, langit a pravděpodobně chryzokol, azurit a „limonit“.

## Literatura

- Bradna J. (1985): Mineralogie výskytu měďnatých rud pod Kotlem v Krkonoších. - *Opera Concoctica* **22**, 5-12.
- Chrt J. (1959): Dosavadní výsledky vyhledávacího průzkumu na ložiskách skarnového typu v Krušných horách a Krkonoších. - *Geol. Průzk.* **1**, 1, 3-8.
- Kratochvíl J. (1960). Topografická mineralogie Čech III. - Nakl. Čs. akademie věd, 407 s. Praha.
- Malásek (1957): Výroční zpráva o prospekčních pracích z r. 1956. - MS, Geofond Praha.
- Pilous V. (1985): Antropogenní montánní tvary reliéfu v krkonošském národním parku. - II. část - důlní díla. - *Opera Concoctica* **22**, 13-78.
- Pošmourný K. (1979): Metalogenetická charakteristika krkonošsko-jizerského krystalinika. - In: Sbor. 22. konf. Čs. společ. mineral. geol., 61-71. Trutnov.
- Pošmourný K., Líbalová J. (1966): Ložiskový výzkum krkonošsko-jizerského krystalinika. - MS, Ústř. úst. geol., Praha (Geofond, P 18832/2).
- Šrein V. (1984): Nové poznatky o mineralogii některých lokalit v Krkonoších a Krušných horách. - MS, ÚGG ČSAV, 30 s. Praha.
- Šrein V. (1985): Malayait z Obřího dolu - první nález v ČSSR. - *Čas. Mineral. Geol.* **30**, 330.
- Šrein V., Litochleb J., Šreinová B. (1998): Vybrané skarnové a sblížené metamorfogenní mineralizace Českého masívu. - *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* **6**, 132-146.
- Žáček V. (2007): Základní geologické mapa České republiky 1:25 000 03-234 Dolní Mísečky. - MS, Česká geologická služba. Praha.
- Žáček V., Břízová E., Burda J., Ďuriš M., Fürich V., Lysenko V., Malec J., Rajchl M., Rambousek P., Skácelová D., Skácelová Z., Vymazalová A. (2007): Vysvětlivky k základní geologické mapě České republiky 1:25 000 03-234 Dolní Mísečky. - MS, Česká geologická služba. Praha.